

Modelování vyzařování velkých světelných zdrojů do horního poloprostoru

Modeling of Radiation of Large Light Sources into the Upper Hemisphere

Bc. Jan Jurtík

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Novák, Ph.D.

Ostrava, 2021

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu doc. Ing. Tomáši Novákovi, Ph.d. a Ing. Petru Běčákovi za cenné rady, odbornou pomoc při řešení problémů a realizaci této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Pavlu Valíčkovi za poskytnutí výpočetní kapacity.

Také bych chtěl poděkovat svým sestrám, přítelkyni, a především rodičům za trpělivost a podporu během mého studia.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou rušivého světla. V první kapitole jsou popsány normy, které definují rušivé světlo. Následující kapitola se zabývá architektonickým osvětlováním, reklamním osvětlováním a jejich požadavky. Třetí kapitola definuje vyzařování automobilových světlometů a vyzařování světelného toku z oken. Následně jsou popsány základní parametry pro modelování rušivého světla. Pro modelování rušivého světla je použit program BuildingDesign. Cílem diplomové práce je porovnat světelné zdroje s ohledem na rušivé světlo vyzařované do horního poloprostoru v městské části Ostrava – Výškovice. Mezi tyto zdroje patří veřejné osvětlení, automobily, okna a reklamy. V závěru je provedeno srovnání těchto zdrojů, jak z hlediska světelně technického, tak z hlediska energetického.

Klíčová slova

Rušivé světlo, oslnění, veřejné osvětlení, vyzařování do horního poloprostoru, zdroje rušivého světla, vyzařování oken, vyzařování reklam, vyzařování automobilů

Abstract

The diploma thesis deals with the issue of interfering light. The first chapter describes the standards that define interfering light. The next chapter deals with architectural lighting, advertising lighting and their requirements. The third chapter defines the radiation of car headlights and radiation of windows. Subsequently, the basic parameters for modeling interfering light are described. BuildingDesign is used to model the interfering light. The aim of the diploma thesis is to compare light sources with respect to disturbing light emitted into the upper half-space, located in the city of Ostrava – Výškovice. These sources include street lighting, cars, windows and advertising. In conclusion, a comparison of these resources both in terms of technical lighting, and in terms of energy.

Key words

Obtrusive light, glare, public lighting, radiation into the upper hemisphere, sources of obtrusive light, radiation of windows, radiation of advertising, radiation of car headlights

Obsah

Seznam použitých symbolů	7
Seznam použitých zkratk	8
Úvod	12
1 Normativní podklady pro omezování vyzařování do horního poloprostoru u sportovišť, komunikací a venkovních pracovních prostorů	13
1.1 Základní pojmy	15
1.2 Doporučené maximální hodnoty světelně technických parametrů pro kontrolu rušivého světla 16	
1.3 ČSN EN 13201 Osvětlení pozemních komunikací	19
1.4 Doporučení pro omezení rušivého světla	22
1.4.1 Instalace a volba svítidla	22
1.4.2 Doba nočního klidu	23
1.4.3 Uspořádání svítidel	23
2 Požadavky na architektonické a reklamní osvětlení	24
2.1 Architektonické osvětlení	24
2.1.1 Požadavky na osvětlení	24
2.1.2 Jas	25
2.1.3 Osvětlenost	26
2.1.4 Oslnění	26
2.1.5 Omezení rušivého světla	26
2.2 Reklamní osvětlení	28
2.2.1 Rozdělení reklamních ploch z hlediska osvětlování	28
2.2.2 Základní kritéria návrhu světelné reklamy	28
3 Vyzařování potkávacích svítidel automobilů a oken (reklam)	30
3.1 Automobily	30
3.1.1 Halogenový světlomet	31
3.1.2 Xenonový světlomet	31
3.1.3 LED světlomet	33
3.1.4 Srovnání	33
3.2 Okna	34

4	Okrajové podmínky pro modelování vyzařování umělých světelných zdrojů do horního poloprostoru	35
4.1	Udržovací činitel	35
4.2	Optické zákony	36
4.2	Bodový zdroj	38
5	Porovnání vlivů jednotlivých světelných zdrojů v rámci intravilánu obce	40
5.1	Prostor	41
5.2	Veřejné osvětlení	44
5.2.1	Světelné zdroje	44
5.2.2	Srovnání vyzařovací charakteristiky veřejného osvětlení	49
5.3	Auta	50
5.3.1	Světelné zdroje	50
5.3.2	Popis	50
5.3.3	Srovnání vyzařovací charakteristiky automobilů	54
5.4	Okna	55
5.4.1	Světelné zdroje	55
5.4.2	Popis	56
5.4.3	Srovnání vyzařovacích charakteristik oken	58
5.5	Reklamy	59
5.5.1	Světelné zdroje	59
5.5.2	Popis	60
5.5.3	Srovnání vyzařovacích charakteristik reklam	61
5.6	Celkové porovnání	62
	Závěr	65
	Seznam literatury a informačních zdrojů	67
	Seznam příloh	69

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Název symbolu
E_v	lx	světlo na objektech
I	cd	svítivost svítidla
ULR	%	přímé vyzařování do horního poloprostoru
L_b	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	jas na fasádách budovy
L_s	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	jas na značkách
L_v	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	závojevý jas
UFR	%	celkové vyzařování do horního poloprostoru
A	m^2	plocha svítidla
H	m	montážní výška svítidel
E_m	lx	průměrná hodnota udržované osvětlenosti
E_0	lx	průměrná hodnota nové osvětlovací soustavy
ρ	-	hodnota činitele odrazu
$\rho(\lambda)$	-	spektrální činitel odraznosti materiálů
$\tau(\lambda)$	-	spektrální činitel propustnosti materiálů
$\alpha(\lambda)$	-	spektrální činitel pohltivosti materiálů
Φ_ρ	lm	světelný tok odražený
Φ_τ	lm	světelný tok prostupu materiálem
Φ_α	lm	světelný tok pohlceny materiálem
P	W	elektrický příkon
Φ	lm	světelný tok
η	$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$	měrný světelný výkon
n	ks	počet
S	m^2	plocha

Seznam použitých zkratek

ČSN	Česká státní norma	
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlování	International commission on Illumination
apod.	a podobně	
obr.	obrázek	
tab.	tabulka	
např.	například	
č.	číslo	
TI	prahový přírůstek	
VO	veřejné osvětlení	
ČR	Česká republika	
MF	udržovací činitel	Maintenance factor
ks	kusů	

Seznam ilustrací

Obr. 1.1: Osvětlení golfového hřiště [16]	13
Obr. 1.2: Osvětlení pracovního prostoru (přístavu) [17]	13
Obr. 1.3: Osvětlení rozvodny elektrické energie	14
Obr. 1.4 Špatně zvolené svítidlo veřejného osvětlení [3]	14
Obr. 1.5: Oslnivé světlo [3]	14
Obr. 1.6: Vyzařování přímé a odražené složky světelného toku [2]	18
Obr. 1.7: Úhel mezi směrem pohledu a pozorovatele a směrem světla dopadajícího od svítidla [7]	19
Obr. 1.8: Instalace a nasměrování svítidel [2]	22
Obr. 1.9: Omezení rušivého světelného toku do horního poloprostoru technickými prostředky [2]	22
Obr. 1.10: Uspořádání párové osvětlovací soustavy [2]	23
Obr. 2.1: Světelný přesah architektonického osvětlení [4]	27
Obr. 2.2: Ukázka špatně a správně zvoleného architektonického osvětlení [4]	27
Obr. 3.1: Druhy světlometů [9]	30
Obr. 3.2: Halogenová žárovka [9]	31
Obr. 3.3: Bi-xenonový modul [9]	32
Obr. 3.4: LED chip pro světlomet [9]	33
Obr. 3.5: Porovnání světelných zdrojů: Halogenové, Xenonové, LED [9]	33
Obr. 3.6: Světelný tok vyzařovaný z oken do horního poloprostoru [2]	34
Obr. 4.1: Pokles relativní osvětlenosti v závislosti na čase [11]	36
Obr. 4.2: Difuzní odraz (Lambertův zářič) [2]	37
Obr. 4.3: Směrově difuzní odraz [7]	37
Obr. 4.4: Difuzní prostup [2]	37
Obr. 4.5: Kruhová výpočetní síť	39
Obr. 5.1: Výpočtová síť modelu	40
Obr. 5.2: Mapa modelované části Výškovice [11]	41
Obr. 5.3: 3D model Výškovice	42
Obr. 5.4: 3D model Výškovice (osvětlený)	43
Obr. 5.5: Svítidla Artechnic Schröder Voltana [12]	44
Obr. 5.6: Křivky svítivosti svítidla Voltana 2 (28,1 W)	44
Obr. 5.7: Svítidlo Artechnic Schröder MC 2 [12]	45
Obr. 5.8: Křivky svítivosti svítidla MC 2 (150 W)	45
Obr. 5.9: Svítidlo Thorn Lighting R2L2 [13]	45
Obr. 5.10: Křivky svítivosti R2L2 (20 W)	46
Obr. 5.11: Svítidlo Philips BGP621 [14]	46
Obr. 5.12: Křivky svítivosti BGP621 (24,5 W)	46
Obr. 5.13: Svítidlo Philips BGP615 [14]	47
Obr. 5.14: Křivky svítivosti BGP615 (28 W)	47
Obr. 5.15: Svítidlo Philips BPP611 [14]	47

Obr. 5.16: Křivky svítivosti BPP611 (47 W).....	48
Obr. 5.17: Svítidlo Philips BPP612 [14]	48
Obr. 5.18: Křivky svítivosti BPP612 (36 W).....	48
Obr. 5.19: Vyzařovací charakteristika přímé + odražené složky veřejného osvětlení.....	49
Obr. 5.20: Vyzařovací charakteristika přímé složky veřejného osvětlení.....	49
Obr. 5.21: Vyzařovací charakteristika automobilů	50
Obr. 5.22: 3D model s navrhnutými automobily.....	50
Obr. 5.23: Hodnoty sčítání dopravy pro ulici Výškovická [15]	52
Obr. 5.24: Hodnoty sčítání dopravy pro ulici Proskovická [15]	53
Obr. 5.25: Vyzařovací charakteristika přímé složky automobilů	54
Obr. 5.26: Vyzařovací charakteristika přímé + odražené složky automobilů	54
Obr. 5.27: Přímý + parazitní světelný tok	55
Obr. 5.28: Vyzařovací charakteristika oken.....	55
Obr. 5.29: 3D model s navrhnutými okny	56
Obr. 5.30: Fotka bytového domu v noci	57
Obr. 5.31: Fotka bytového domu přes den [11].....	57
Obr. 5.32: Naměřené intenzity jasů oken	58
Obr. 5.33: Vyzařovací charakteristika přímé + odražené složky oken.....	58
Obr. 5.34: Vyzařovací charakteristika přímé složky oken.....	58
Obr. 5.35: Vyzařovací charakteristika reklam	59
Obr. 5.36: 3D model s navrhnutými reklamami	60
Obr. 5.37: Naměřená intenzita jasu reklamy	61
Obr. 5.38: Vyzařovací charakteristika přímé + odražené složky reklam	61
Obr. 5.39: Vyzařovací charakteristika přímé složky reklam	61
Obr. 5.40: Vyzařovací charakteristika přímé + odražené složky celého modelu.....	62
Obr. 5.41: Vyzařovací charakteristika přímé složky celého modelu	62
Obr. 5.42: Grafické znázornění přímé složky vyzařování: VO, aut, oken, reklam	64
Obr. 5.43: Grafické znázornění přímé + odražené složky vyzařování: VO, aut, oken, reklam	64

Seznam tabulek

Tab. 1.1: Systém dělení venkovního prostředí na zóny životního prostředí [1].....	16
Tab. 1.2: Minimální vzdálenosti mezi zóny vztahované k referenčnímu bodu v zóně E1 [2].....	16
Tab. 1.3: Limitní hodnoty rušivého světla ve venkovním osvětlení [6].....	17
Tab. 1.4: Maximální hodnoty světelného toku svítidla vyzařovaného do horního poloprostoru [6]	17
Tab. 1.5: Maximální hodnoty celkového světelného toku do horního poloprostoru (pro 4 a více svítidel) [6]	18
Tab. 1.6: Maximální svítivosti svítidel [5]	20
Tab. 1.7: Třída clonění v závislosti na zóně životního prostředí [7]	20
Tab. 1.8: Třída oslnění[5].....	21
Tab. 1.9: Doporučení pro použití tříd oslnění [7]	21
Tab. 1.10: Největší hodnoty prahového přírůstku od jiných svítidel než svítidel ve veřejném osvětlení [6]	21
Tab. 1.11: Rozdělení svítidel podle rozložení jejich světelného toku [7]	23
Tab. 2.1: Doporučené hodnoty povrchových jasů u architektonického osvětlení [2]	25
Tab. 2.2: Základní rozdělení prostředí [2]	29
Tab. 2.3: Maximální přípustné hodnoty svítivosti a jasů podle velikosti reklamní plochy [2]	29
Tab. 4.1: Činitelé odrazu typických materiálů [7].....	38
Tab. 5.1: Parametry svítidla Voltana 2 (28,1 W)	44
Tab. 5.2: Parametry svítidla MC 2 (150 W)	45
Tab. 5.3: Parametry svítidla R2L2 (20 W)	46
Tab. 5.4: Parametry svítidla BGP621 (24,5 W)	46
Tab. 5.5: Parametry svítidla BGP615 (28 W)	47
Tab. 5.6: Parametry svítidla BPP611 (47 W).....	48
Tab. 5.7: Parametry svítidla BPP612 (36 W).....	48
Tab. 5.8: Hodnoty vyzařujícího světelného toku do horního poloprostoru pro veřejné osvětlení.....	49
Tab. 5.9: Parametry světelných zdrojů pro automobily	50
Tab. 5.10: Hodnoty vyzařujícího světelného toku do horního poloprostoru pro automobily	54
Tab. 5.11: Parametry světelných zdrojů pro okna	55
Tab. 5.12: Hodnoty vyzařujícího světelného toku do horního poloprostoru pro okna	58
Tab. 5.13: Parametry světelných zdrojů pro reklamy	59
Tab. 5.14: Hodnoty vyzařujícího světelného toku do horního poloprostoru pro reklamy	62
Tab. 5.15: Hodnoty vyzařujícího světelného toku do horního poloprostoru pro celkový model	62
Tab. 5.16: Celkové srovnání	63

Úvod

Zajištění umělého osvětlení nelze provést bez dopadu na životní prostředí. Rušivé světlo je elektromagnetické záření vyzařující ve viditelné oblasti z umělých zdrojů světlo mimo hranice osvětlované oblasti a způsobuje nežádoucí jevy jako jsou zvýšení jasů oblohy, světelný přesah, což má za následek zvýšení spotřeby elektrické energie. Tento problém je důsledkem moderní doby a je nutné se na něj dívat nejenom z pohledu astronomického, ale především z pohledu zdravotního, neboť může vážně působit na psychickou či fyzickou pohodu člověka či narušovat přirozený chod zvířat nebo rostlin. Nadměrné rušivé světlo můžeme vidět především ve městských aglomeracích, kde se často vyskytují největší zdroje tohoto záření. Konkrétně se jedná o:

- světelný tok vyzařující ze svítidel veřejného osvětlení
- světelný tok vyzařující z reklam či vitrín
- světelný tok vyzařující z oken domácností a kanceláří
- světelný tok vyzařující z průmyslových oblastí, nákupních center, železnic či sportovišť.

Ve většině literatur se tyto zdroje uvádí jako hlavní vlivy rušivého světla vyzařovaného do horního poloprostoru. V diplomové práci jsem se snažil ukázat další vliv rušivého světla, který je nutné brát v potaz a počítat s ním:

- světelný tok vyzařující z automobilů.

Vzhledem k tomu, že se jedná o závažnou problematiku, dokazuje fakt, že se tímto problémem zabývá také norma. Ta je popsána v první kapitole, kde definuje mezní hodnoty rušivého světla pro ochranu a zlepšení nočního prostředí. Nedílnou součástí městské zástavby tvoří také architektonické stavby a s nimi spojené osvětlování. V druhé kapitole se zabývám jejich požadavky, ale také jak správně přistupovat k návrhu architektonického osvětlení. Třetí kapitola objasňuje jednotlivé rozdělení automobilových světlometů a jejich vyzařování, neboť je s nimi důležité počítat, protože také přispívají k vyzařování rušivého světla do horního poloprostoru. I v tomto oboru došlo k velkým technologickým změnám a starší technologie jsou postupně vyměňovány za nové LED světelné zdroje.

Ve čtvrté kapitole se popisuje, jak správně přistupovat k modelu, u kterého chceme počítat vyzařování do horního poloprostoru v softwarovém programu.

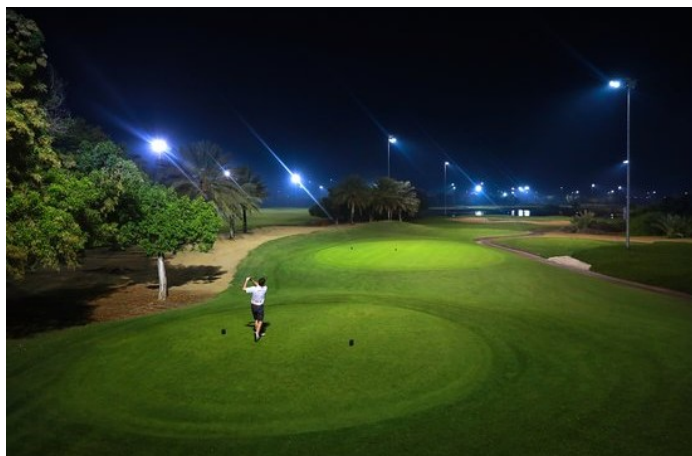
Cílem diplomové práce je z dostupných zdrojů namodelovat co nejpřesnější kopii městské části Ostravy – Výškovice s ohledem na vyzařování do horního poloprostoru. V návrhu jsou zahrnuty veškeré světelné zdroje, které negativně působí na člověka jako například: vyzařování veřejného osvětlení, vyzařování oken, vyzařování reklam a nový pohled na vyzařování automobilů. Dalším cílem bylo tyto dílčí zdroje porovnat jak z hlediska světelně technického, tak také z hlediska energetického.

1 Normativní podklady pro omezování vyzařování do horního poloprostoru u sportovišť, komunikací a venkovních pracovních prostorů

Venkovní osvětlení, bez ohledu na to, jak dobře je navržené, bude mít obecně nějaký vliv na prostředí, ve kterém je nainstalováno. Cíle osvětlení mohou být neslučitelné s omezením světla na dané prostory. Některé případy, nebo činnosti vyžadují směřování světelného toku do horního poloprostoru. Při návrhu a instalaci venkovního osvětlení je třeba vzít v úvahu účinky osvětlení na obyvatelích, jejich nemovitostech a také na dopravu.

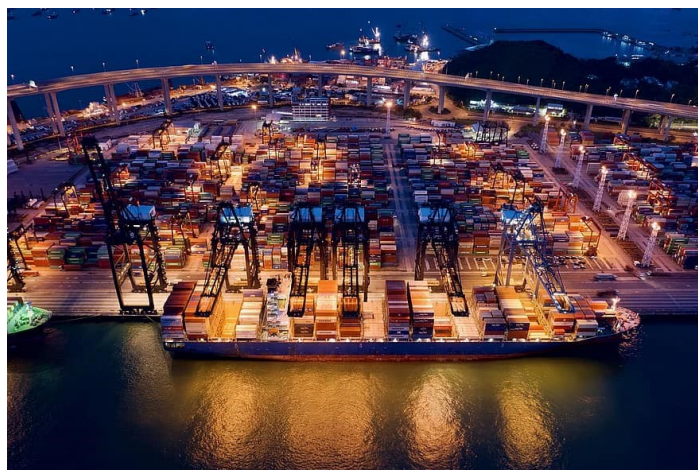
Jako příklad si můžeme uvést následující situace:

- a) Sportoviště – tenis, golf či jiné sporty, kde je zásadní pozorovat míček v prostoru nad hrací plochou



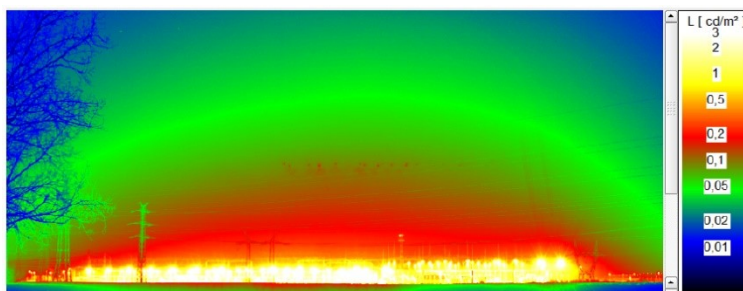
Obr. 1.1: Osvětlení golfového hřiště [16]

- b) Venkovní pracovní prostor – skladiště kontejnerů přístavů či železnic, které jsou stavěné do výšky musí obsluha identifikovat každý kontejner



Obr. 1.2: Osvětlení pracovního prostoru (přístavu) [17]

- c) Bezpečnostní osvětlení – u těchto aplikací musí být světlo nasměřováno do vysokých úhlů, aby spolehlivě osvětlilo celý prostor



Obr. 1.3: Osvětlení rozvodny elektrické energie

- d) Veřejné osvětlení – pouliční lampa svítí přímo do místnosti domu



Obr. 1.4 Špatně zvolené svítidlo veřejného osvětlení [3]

- e) Doprava – snížení schopnosti vnímat signalizační systémy z důvodu přesycení světelného toku [6]



Obr. 1.5: Oslnivé světlo [3]

1.1 Základní pojmy

Doba nočního klidu (curfew)

Doba, během níž se uplatňují přísnější požadavky (na kontrolu rušivého světla)

Horní hranice osvětlení (glare rating limit) GR_L

Největší hodnota činitele oslnění podle systému hodnocení oslnění CIE

Udržovaná osvětlenost (maintained illuminance) E_m

Hodnota, pod kterou nesmí průměrná osvětlenost na určené rovině klesnout

Rušivé světlo (obtrusive light)

Rozptýlené světlo, které svým kvantitativním, směrovými nebo spektrálními vlastnostmi v dané situaci zvětšuje obtěžování, nepohodu, rozptýlení nebo omezuje schopnost vidět hlavní informaci

Ztrátové (rozptýlené, přelité) světlo (spill light, stray light)

Světlo vyzařované osvětlovací soustavou za hranice osvětlovaného objektu

Podíl horního světla (upward light ratio) ULR

Podíl (poměrná část) světelného toku svítidla (svítidel) vyzařovaného nad horizont v jeho (jejich) pracovní poloze a umístění

Odražená složka světla (upward flux ratio) UFR

Hodnota celkového světelného toku od všech svítidel vyzařování do horního poloprostoru [7]

1.2 Doporučené maximální hodnoty světelně technických parametrů pro kontrolu rušivého světla

Rušivé světlo dle ČSN EN 12464-2 je neužitečné světlo, které svými kvantitativními, směrovými nebo spektrálními vlastnostmi v dané situaci zvětšuje nepohodu, obtěžování, rozptýlení nebo omezuje schopnost vidět nejdůležitější informace. V normě ČSN EN 12464-2 a ČSN EN 12193 jsou uvedeny mezní hodnoty rušivého světla pro zlepšení a ochranu nočního prostředí. Limity rušivého světla se rozdělují na limity rušivého světla ve venkovních osvětlovacích soustavách k minimalizaci problému pro osoby, floru a faunu a limity rušivého světla pro uživatele cest.

Dle normy ČSN EN 12464-2 můžeme s ohledem na velikost rušivého světla v závislosti na aglomeraci a atmosférických podmínkách zařadit do několika skupin (Tab. 1.1) [2]

Tab. 1.1: Systém dělení venkovního prostředí na zóny životního prostředí [1]

Zóna životního prostředí	Okolí	Světelné prostředí	Příklady
E1	přírodní	velmi tmavé oblasti	národní parky a chráněné území
E2	venkovské	málo světlé oblasti	průmyslové a obytné venkovské oblasti
E3	předměstské	středně světlé oblasti	průmyslová a obytná předměstí
E4	městské	velmi světlé oblasti	centrum města a obchodní zóny

V souvislosti s roztržďením enviromentálních zón, je důležité také vymezit hranice jednotlivých prostředí.

Tab. 1.2: Minimální vzdálenosti mezi zóny vztažené k referenčnímu bodu v zóně E1 [2]

Hranice zón	Minimální délka hranice (km)
E1-E2	1
E2-E3	10
E3-E4	100

Pokud se ve větších oblastech nachází různé zóny vedle sebe, neměly by tyto enviromentální zóny přecházet více jak o jeden stupeň. Také hranice nejsou skokové, ale postupné. V tabulce se uvádí hodnoty rozlišené podle doby nočního klidu. Tuto dobu můžeme chápat například jako dobu od 22:00 hodiny

večerní do 6:00 hodiny ranní. Jelikož v České republice není tento pojem zaveden, řeší se tento nedostatek tak, že bezpodmínečně požadujeme, aby se vyšší hodnoty nepřekročily a upřednostňovaly se menší. [2]

Tab. 1.3: Limitní hodnoty rušivého světla ve venkovním osvětlení [6]

Zóna životního prostředí	Světlo na objektech		Svítivost svítidla		Podíl horního toku	Jas	
	$E_v (lx)$		$I (cd)$		$ULR (\%)$	$L_b(cd \cdot m^{-2})$	$L_s(cd \cdot m^{-2})$
	Mimo dobu nočního klidu*	V době nočního klidu	Mimo dobu nočního klidu	V době nočního klidu		fasády budov	značky
E1	2	0	2 500	0	0	0	50
E2	5	1	7 500	500	2,5	5	400
E3	10	2	10 000	1000	5	10	800
E4	25	5	25 000	2500	15	25	1000
*V případě, kdy se neuplatňuje noční omezení, nesmí být větší hodnoty překročeny a mají se upřednostnit menší hodnoty.							
E_v	největší hodnota svislé (vertikální) osvětlenosti na objektech (lx)						
I	je svítivost každého zdroje v potenciálně obtěžujícím směru (cd)						
URL	podíl (poměrná část) světelného toku svítidla (svítidel) vyzařovaného nad horizont v jeho (jejich) pracovní poloze a umístění (%)						
L_b	největší průměrný jas fasády budov ($cd \cdot m^{-2}$)						
L_s	největší průměrný jas značek ($cd \cdot m^{-2}$)						

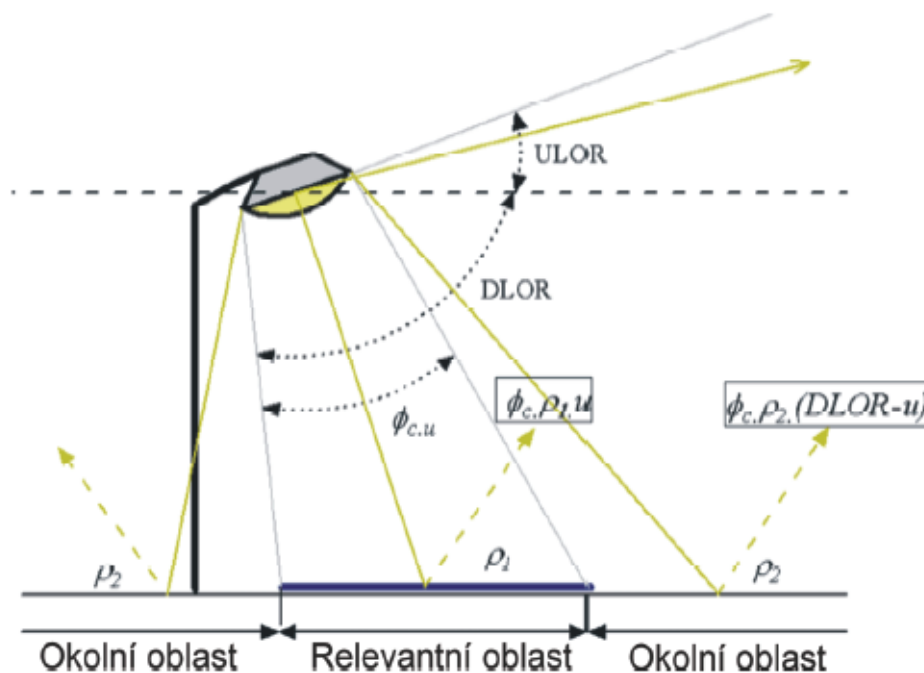
Tab. 1.4: Maximální hodnoty světelného toku svítidla vyzařovaného do horního poloprostoru [6]

Světelně technické parametry	Zóny životního prostředí			
	E1	E2	E3	E4
Podíl světelného toku svítidel do horního poloprostoru ULR (%)	0	2,5	5	15

Tab. 1.5: Maximální hodnoty celkového světelného toku do horního poloprostoru (pro 4 a více svítidel) [6]

Světelně technické parametry	Typ umístění	Zóny životního prostředí			
		E1	E2	E3	E4
Celkový podíl světelného toku do horního poloprostoru UFR (%)	Silnice	2	5	8	12
	Dekorativní	/	6	12	35
	Sportoviště	/	2	6	15

V některých případech může být $ULOR = 0$ ale díky vlastnostem materiálu a jejich odraznosti povrchu je do horního poloprostoru distribuováno výrazné množství světelného toku. Parametry ULOR a DLOR nám může předložit výrobce svítidla. [7]



Obr. 1.6: Vyzařování přímé a odražené složky světelného toku [2]

kde: ULOR – celkový světelný tok vyzařování do horního poloprostoru

ULOR – přímý světelný tok vyzařovaný ze svítidla do horního poloprostoru

DLOR – odražený světelný tok od povrchů

1.3 ČSN EN 13201 Osvětlení pozemních komunikací

Čím vyšší je jas oslňujícího zdroje a prostorový úhel, tím vyšší je oslnění pod kterým sledujeme oslňující plochu. Proto je při návrhu nové osvětlovací soustavy snahou oslnění minimalizovat. Oslnění způsobuje nepohodu, neschopnost vnímat informace a detaily.

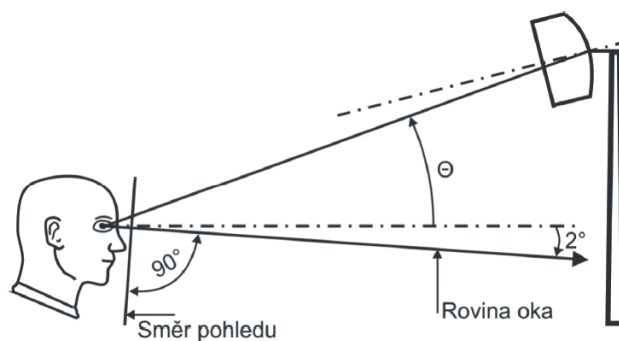
Součinitel oslnění se počítá jako

$$I \cdot A^{-0,5} \text{ (cd/m)} \quad (1.1)$$

kde:

I maximální hodnota svítivosti (cd), v jakémkoliv směru tvořící uhel 85° od svislice směrem vzhůru

A je vyzařovací plocha svítidla (m^2)



Obr. 1.7: Úhel mezi směrem pohledu a pozorovatele a směrem světla dopadajícího od svítidla [7]

Norma ČSN EN 13201-2 určuje třídy clonění a třídy oslnění, podle kterých lze snížit oslnění u obtěžujícího světla. V tabulce (Tab. 1.6) jsou uvedeny třídy G1, G2, G3, G4, G5 a G6. Tyto třídy udávají limitní hodnoty svítivosti v cd/klm pro úhly 70° , 80° a 90° od svislice směrem vzhůru. [5]

Tab. 1.6: Maximální svítivosti svítidel [5]

Třída	Svítivost (cd/klm)			Jiné požadavky
	v úhlu 70°	v úhlu 80°	v úhlu 90°	
G1	/	200	50	žádné
G2	/	150	30	žádné
G3	/	100	20	žádné
G4	500	100	10	svítivost nad 95° *je nula
G5	500	100	10	svítivost nad 95° *je nula
G6	500	100	0	svítivost nad 95° *je nula
*Svítivost v uvedeném úhlu měřeného zdola od svislice, v libovolném směru, pro svítidlo v provozní poloze				

Vzhledem k tomu, že norma neřeší, kterou třídu svítivosti použít v závislosti na místě, definuje se třída clonění v závislosti na zóně životního prostředí. Vymezení zón životního prostředí provádí příslušné pracoviště místní samosprávy. Doporučené třídy clonění v závislosti na zóně životního prostředí jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 1.7). [7]

Tab. 1.7: Třída clonění v závislosti na zóně životního prostředí [7]

Zóna životního prostředí	Přípustná třída clonění
E1	G6
E2	G6 až G4
E3	G6 až G2
E4	G6 až G1

V tabulce (Tab. 1.8) jsou uvedeny třídy oslnění D1, D2, D3, D4, D5, a D6 ze kterých lze vybrat splňující požadavky na jeho omezení. Tyto třídy jsou určeny převážně pro oblasti osvětlení silnic, přechodů pro chodce, cyklistické stezky a jsou v závislosti na montážní výšce svítidel (Tab. 1.9). Nejlepší omezení oslnění jsou poskytována především v třídě D4, D5 a D6. [5]

Tab. 1.8: Třída oslnění[5]

Třída	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Hodnota součinitele oslnění	-	7000	5500	4000	2000	1000	500

Tab. 1.9: Doporučení pro použití tříd oslnění [7]

Montážní výška svítidel H (m)	Třída osvětlení	Poznámky
$H > 6$	D1	/
$6 \geq H > 4,5$	D2	/
$4,5 \geq H > 3$	D3	/
$3 \geq H$	D4	velký jas okolí
	D5	střední jas okolí
	D6	malý jas okolí

Osvětlení pozemních komunikací zahrnuje osvětlení ve všech městských částech (ulice, přechody pro chodce, chodníky, cyklistické stezky), dálkové komunikace, osvětlení důležitých uzlů, osvětlení dopravních terminálů (vlakové a autobusové nádraží, přístavy, překladiště atd.), osvětlení tunelů a podjezdů. Osvětlení pozemních komunikací je pravděpodobně nejpočetnější formou venkovního osvětlení a díky tomu má velký podíl na vzniku rušivého světla. [2]

Limity platí tam, kde uživatelé dopravních systémů nejsou schopni rozpoznat základní informace. Následující tabulka (Tab. 1.10) uvádí hodnoty, které jsou pro příslušné polohy a pozorování ve směru jízdy. [6]

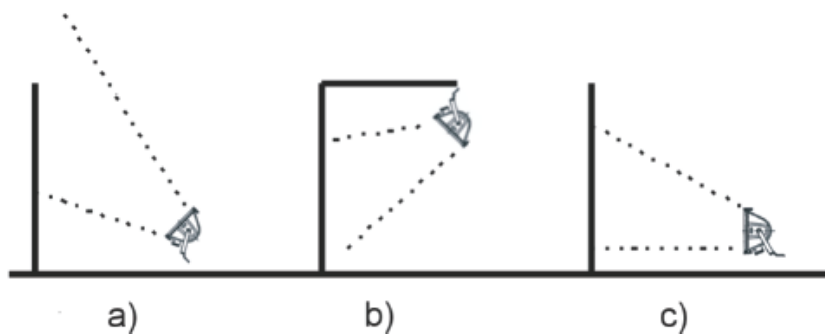
Tab. 1.10: Největší hodnoty prahového přírůstku od jiných svítidel než svítidel ve veřejném osvětlení [6]

Světelně technické parametry	Třída silnice			
	Bez pouličního osvětlení	M6 / M5	M4 / M3	M2 / M1
Závojevý jas L_v	$0,037 \text{ cd/m}^2$	$0,23 \text{ cd/m}^2$	$0,4 \text{ cd/m}^2$	$0,84 \text{ cd/m}^2$
Prahový přírůstek TI	15 % za předpokladu že adaptační jas je $0,1 \text{ cd/m}^2$	15 % za předpokladu že adaptační jas je 1 cd/m^2	15 % za předpokladu že adaptační jas je 2 cd/m^2	15 % za předpokladu že adaptační jas je 5 cd/m^2
Třídy osvětlení podle CIE 115:2010 (CIE, 2010)				
Hodnoty závojevého jasu TI uvedeny v této tabulce jsou založeny na přípustné hodnotě 15 %				

1.4 Doporučení pro omezení rušivého světla

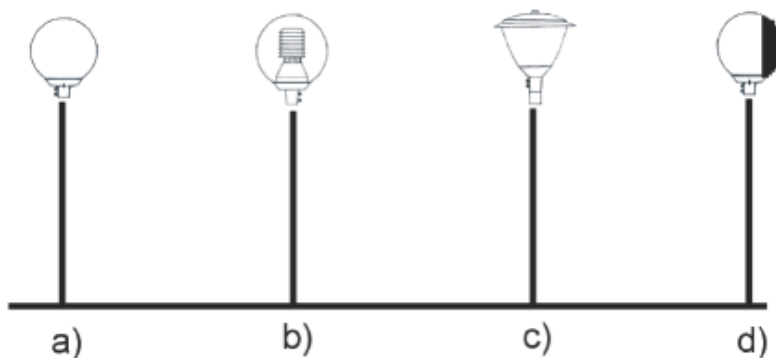
1.4.1 Instalace a volba svítidla

Pro osvětlování svislých a vodorovných ploch se doporučuje používat svítidla, která jsou nasměrovaná přímo dolů (Obr. 1.8-b). V případě, že nejsme schopni dosáhnout tohoto nasměrování, snažíme se směřovat přímo na osvětlovaný objekt (Obr. 1.8-c). Pokud není technicky možné a dané svítidlo směřuje vzhůru, je nutno použít clonu, která omezí neefektivní vyzařování (Obr. 1.8-a).



Obr. 1.8: Instalace a nasměrování svítidel [2]

Je velmi důležité zvolit technická zařízení taková, která jsou schopna eliminovat složku světelného toku distribuovanou do horního poloprostoru. Například svítidlo (Obr. 1.9-a) vyzařuje téměř veškerý světelný tok do horního poloprostoru, ale zároveň může způsobovat oslnění. Další svítidlo uvedené na obrázku (Obr. 1.9-b) je vybaveno prstencovou clonou, která působí proti oslnění, ale nikoliv proti vyzařování do horního poloprostoru. U svítidla (Obr. 1.9-c) máme vrchlík, který tomuto jevu zabráňuje. Pokud dané svítidlo vyzařuje na nechtěné místa (například okno domu), můžeme jej omezit clonou, která zamezí v šíření světla v nežádoucím směru, jako je naznačeno na obrázku (Obr. 1.9-d).[2]



Obr. 1.9: Omezení rušivého světelného toku do horního poloprostoru technickými prostředky [2]

Svítidla lze rozdělit do skupin podle jejich vlastností, kdy zvoleným kritériem je prostorové rozložení světelného toku do horního a dolního poloprostoru.

Tab. 1.11: Rozdělení svítidel podle rozložení jejich světelného toku [7]

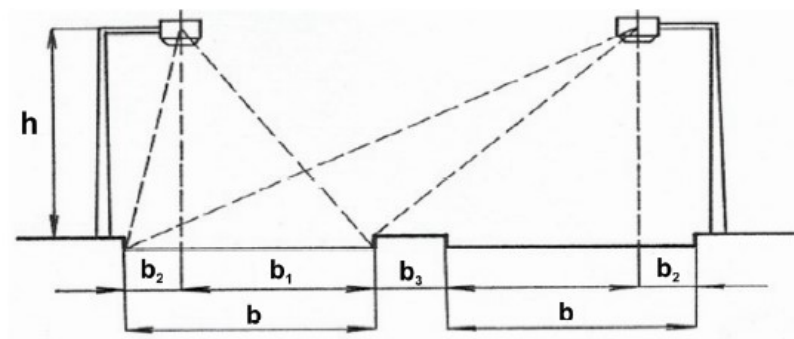
Označení svítidla	Světelný tok do dolního poloprostoru (%)	Světelný tok do horního poloprostoru (%)	Značení podle DIN 5040
Přímé	90 až 100	0 až 10	A
Převážně přímé	60 až 90	10 až 40	B
Smíšené	40 až 60	40 až 60	C
Převážně nepřímé	10 až 40	60 až 90	D
Nepřímé	0 až 10	90 až 100	E

1.4.2 Doba nočního klidu

Další možností, jak snížit světelné znečištění, je věnovat pozornost načasování pro použití světla. Zvláštní pozornost bychom měli věnovat světlům pro komerční účely. Nemá smysl používat osvětlení reklam, billboardů, či jiných reklamních předmětů v hodinách, kdy si toho nikdo nevšimne, neboť se nachází venku minimální počet osob. Touto myšlenkou se vydala Francouzská vláda a navrhla, aby osvětlení vitrín obchodů, kanceláří a veřejných budovách bylo v časech od 1:00 – 7:00 hodin vypnuto. [3]

1.4.3 Uspořádání svítidel

Správně zvolenou polohou, výškou stožáru a roztečí můžeme dosáhnout optimálního rozložení a díky tomu bude dopadat světelný tok pouze tam, kde je ho potřeba. Tím dosáhneme snížením celkového světelného toku a také omezením rušivého světla.



Obr. 1.10: Uspořádání párové osvětlovací soustavy [2]

2 Požadavky na architektonické a reklamní osvětlení

2.1 Architektonické osvětlení

Architektonické osvětlení se nevytváří k podmínkám, které souvisí se zrakovým výkonem, ale pro vytvoření atmosféry v nočním prostředí či zdůraznění osvětlovaných objektů. Výsledný efekt architektonického osvětlení závisí na mnoha faktorech, jako například tvar osvětlovaného projektu, jeho okolí, na barevných vlastnostech a struktuře povrchu, ročním období, klimatickým podmínkám nebo teplotě chromatičnosti použitých světelných zdrojů.

Do architektonického osvětlení se zahrnuje osvětlení:

- budov
- technických staveb
- umělecké díla a drobné architektury
- stromy a zeleně
- parky a vodní plochy
- reklamní plochy

Základním důvodem architektonického osvětlení je upoutat pozornost. Jestliže se jedná o komerční objekty, jako jsou restaurace, obchodní, zábavní a sportovní centra, administrativní budovy, slouží toto osvětlení jako efektivní a účinný způsob reklamy a propagace. Pokud se jedná o budovy veřejné, kostely, mosty, historické budovy, pomníky a jiné, je osvětlení spíše vyjádření hrdosti a identity místních obyvatel. Každopádně i v tomto případě se jakýmsi způsobem jedná o způsob propagace, který má upoutat pozornost lidí. [1]

2.1.1 Požadavky na osvětlení

Při projektu architektonického osvětlení je důležité zohlednit, jak má být daný objekt osvětlený a jak má vizuálně působit. Osvětlení je důležité přizpůsobit architektonické hodnotě objektu, jeho tvaru a okolí, ve kterém se nachází. Při návrhu je důležité dodržovat tyto následující hlediska:

- směry pozorování
- pozorovací vzdálenost
- osvětlení pozadí a okolí
- odrazné vlastnosti povrchu

Jako první se určuje základní směr pohledu, ze kterého by měl být pohled na osvětlovaný projekt nejatraktivnější. Tomu se poté přizpůsobuje skladba jasu a rozmístění svítidel. Optimální navržení by mělo

být takové, aby při pozorování ze zvolených pozorovacích směrů nebyly vidět části svítidel. Další důležitý parametr je pozorovací vzdálenost, která ovlivňuje množství viditelných detailů na osvětlovaném objektu. Viditelnost detailů souvisí s rozlišovací schopností lidského zraku a s množstvím světla odraženého od objektu. Velikost odraženého světla od objektu, respektive úroveň jasu ploch osvětlovaného objektu, ovlivňuje viditelnost detailů, ale i celkovou čitelnost objektu.

Úroveň osvětlení je třeba správně zvolit podle daného okolí a pozadí. Jestliže je okolí objektu tmavé, není potřeba daný objekt osvětlovat vysokými jasy pro jeho zvýraznění. Pokud je okolí světlé, nebo se zde nacházejí třeba objekty s prosvětlenými okny, je potřeba větší jas (osvětlenost), aby správně vyniknul. Můžou nastat případy, že nemůžeme zvýšit jas, v porovnání s okolím z důvodu omezení rušivého světla. V takovém případě je vhodné zvýraznit daný objekt například barevným kontrastem.

Správný barevný vzhled objektu záleží na odrazných plochách daného objektu, jeho vlastnostech, ale také na vlastnostech použitého světelného zdroje. [1]

2.1.2 Jas

Jelikož lidské oko reaguje na jas, což je světlo odražené od povrchů směrem k oku, musí se při stanovování požadavků na architektonické osvětlení vycházet z požadovaných hodnot jasů. Úroveň jasu závisí na pozorovací vzdálenosti osvětlovaného objektu nebo na jasu okolí. Doporučené hodnoty jasu jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2.1)

Tab. 2.1: Doporučené hodnoty povrchových jasů u architektonického osvětlení [2]

Jas okolí	Popis prostředí	Jas L_b $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	
		malá pozorovací vzdálenost	velká pozorovací vzdálenost
malý	venkovské oblasti	$4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
střední	malá města a předměstí velkých měst	$6 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$	$8 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
velký	zábavní a komerční oblasti, centra velkých měst	$12 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$	$16 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$

Z pohledu omezení rušivého světla je maximální jas fasád objektu $25 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Pro rovnoměrné osvětlení povrchu je třeba, aby poměr mezi maximálním a minimálním jasnem byl v poměru 2:1. Pokud se zvýší poměr na 3:1 a více, dochází ke zřetelné nerovnoměrnosti osvětlení, což způsobuje negativní prostorový vjem. [1]

2.1.3 Osvětlenost

V případě, že povrchy osvětlovaného objektu mají difuzní charakter odrazu, můžeme na základě zvoleného jasu $\bar{L}_{m,b}$ stanovit osvětlenost povrchu $\bar{E}_{m,b}$ ze vztahu (2.1):

$$\bar{E}_{m,b} = \frac{\bar{L}_{m,b} \cdot \pi}{\rho} \quad (2.1)$$

kde

$\bar{E}_{m,b}$ je průměrná hodnota udržované osvětlenosti sledovaného povrchu (lx),

$\bar{L}_{m,b}$ je průměrná udržovaná hodnota jasu povrchu ($cd \cdot m^{-2}$)

ρ je integrální hodnota činitele odrazu osvětlovaného povrchu (—)

Při navrhování a výpočtu osvětlovací soustavy, je nutné zohlednit faktory, které mají vliv na snížení jasu, jako například znečištění povrchu osvětlovaného projektu nebo pokles světelného toku z důvodu stárnutí osvětlovací soustavy. Vzhledem k tomu, že se jedná o architektonické osvětlení, které se často nachází ve větší vzdálenosti, je třeba zohlednit pohlcení světelného toku při průchodu venkovním prostředím. Vjem a intenzita osvětlovaného povrchu závisí také na charakteru odrazu, proto je důležité vzít v úvahu spektrální vlastnosti světla použitých světelných zdrojů a jejich povrchů. Například na prosklených fasádách nebo lesklých plochách povrchů, může vzrůstat zrcadlová složka, a proto bude klesat vjem a jas daného povrchu. V takovém případě se bude světlo odrážet převážně do jednoho směru a může být zdrojem oslnění. [1]

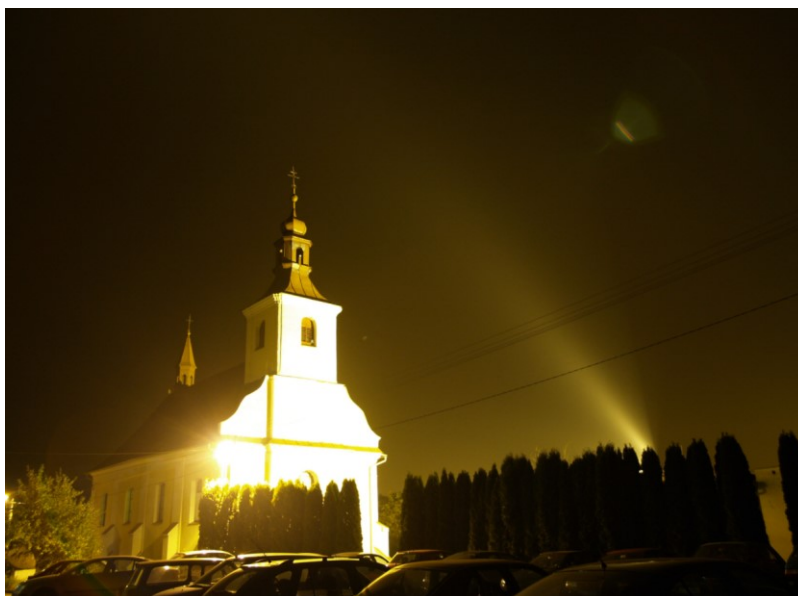
2.1.4 Oslnění

Při návrhu architektonického osvětlení není stanoven způsob kontroly oslnění. Jediné požadavky jsou omezení rušivého světla, u kterých se kontroluje oslnění na přilehlých komunikacích pomocí prahového přírůstku TI jako je uvedeno v tabulce (Tab. 1.10) [1]

2.1.5 Omezení rušivého světla

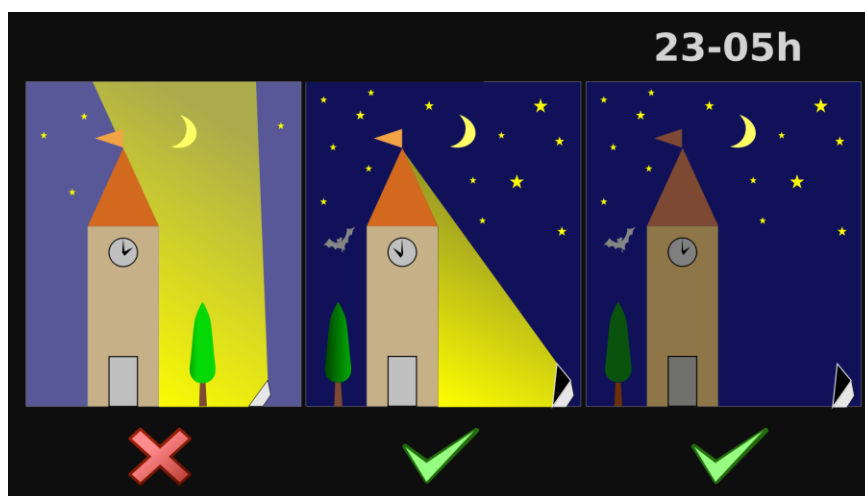
Pokud je návrh architektonického osvětlení navrhováno nevhodně nebo bez ohledu na vliv, který má na své okolí, je velmi pravděpodobné, že bude mít vliv na světelné znečištění. V některých případech je otázka, zdali je architektonické osvětlení nutné, či potřebné. Například osvětlení hradu, který stojí ve volné přírodě může narušit atmosféru daného objektu či jeho okolí.

Pro omezení rušivého světla je důležité objekty osvětlovat především směrem shora dolů. Osvětlování zespod nahoru by se mělo využívat pouze v případech, kde jiný způsob není technicky možný (například věž kostela aj.) V takovémto případě, by se mělo dbát na co nejmenší světelný přesah mimo osvětlovaný objekt. V případě, že dané svítidlo přesahuje osvětlovaný objekt, je nutné použít clony, stínítka, nebo zvolit jiný směrový zdroj k tomu určený. [4]



Obr. 2.1: Světelný přesah architektonického osvětlení [4]

Vzhledem k tomu, že se v pozdních nočních hodinách nachází v ulicích málo lidí, je vhodné architektonické a dekorativní osvětlení vypínat. Takovéto osvětlení postrádá smysl a představuje mrhání elektrickou energií. Například Pražský hrad vypíná své osvětlení v 1:00 hodinu v noci. Podle Správy Pražského hradu se tímto krokem ročně ušetří až 130 tisíc korun. Některé jiné objekty (Eiffelova věž v Paříži) se zahalují do tmy už o půlnoci.



Obr. 2.2: Ukázka špatně a správně zvoleného architektonického osvětlení [4]

2.2 Reklamní osvětlení

V dnešní době tvoří velkou část reklamní panely, billboardy nebo jiné marketingové poutače. Nejčastěji je můžeme zahlédnout podél komunikací, na volných prostranstvích nebo na budovách. Značnou část reklam si za denního světla ani nevšimneme, ale v noci nás svým specifickým osvětlením přitahují mnohdy více, než bychom si přáli, protože většina z nich vyniká v okolním prostředí.

Mezi původní světelné reklamy se řadí světelné trubice plněné neonem (plyn). Z tohoto důvodu se jim také říká neonová reklama. Postupem času tyto neonové trubice byly nahrazovány zářivkami a výbojkami. V současné době se zářivky a výbojky vyměnili za LED světelné diody. Především se dnes používají LED panely, které mají svoji řídicí jednotku a s pomocí programu vytváří obrazce nebo vizi pohledu. Vývoj světelných LED diod zapříčinil velký rozmach jejich použití v reklamních aplikacích, jako jsou velkoplošné panely nebo obrazovky.

2.2.1 Rozdělení reklamních ploch z hlediska osvětlování

Typy reklam můžeme rozdělit do dvou skupin. Tou první jsou tzv. reklamy pasivní, které jsou pozorovatelné pouze přes den, neboť nevyužívají žádné osvětlení. Tyto reklamy obvykle nejsou v noci pozorovatelné, proto se jimi nebudeme zabývat. Druhou skupinou jsou reklamy, které používají umělé osvětlení a můžeme je zařadit do několika podskupin:

Reklamní plochy osvětlované z vnějšího zdroje světla: Jsou to reklamy, které využívají světlomety nebo jiné světelné zdroje umístěné mimo plochu reklamy.

Reklamní plochy s vnitřním zdrojem světla: Jsou takové, kdy světelný zdroj umístěn uvnitř reklamy prosvětluje plastovou barevnou fólii daného panelu.

Plochy s povrchovým zdrojem světla: Jsou to reklamy, které využívají LED k zobrazení textů a obrazců, které se mohou libovolně měnit díky počítačem řízené matici ze světelných diod.

2.2.2 Základní kritéria návrhu světelné reklamy

Abychom mohli správně navrhnout reklamní osvětlení, je nutné zohlednit určitá základní kritéria např.: rozměr světelné reklamy, druh materiálu, velikost a tvar osvětlované plochy, poloha vztahovaná k vozovce, chodníku, sousedním objektům a rušivému světlu. Důležitým parametrem je určení charakteru prostředí, ve kterém bude reklama umístěna (Tab. 2.2).

Tab. 2.2: Základní rozdělení prostředí [2]

Kategorie	Jak okolí	Charakteristika prostředí
I.	$<0,3 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$	Neosvětlené prostředí, silnice, noční obloha
II.	$>0,3 \text{ až } 3,0 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$	Mírně osvětlené prostředí, průměrně osvětlená vozovka, individuální světelné body
III.	$>3,0 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$	Silně osvětlené prostředí, vyšší úroveň osvětlení vozovky, více světelných zdrojů

Tab. 2.3: Maximální přípustné hodnoty svítivosti a jasů podle velikosti reklamní plochy [2]

Kategorie	Maximální hodnota svítivosti při ploše $S < 20 \text{ m}^2$	Maximální hodnota jasu při ploše $S > 20 \text{ m}^2$
I.	100 cd	$5 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
II.	300 cd	$15 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
III.	1000 cd	$50 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$

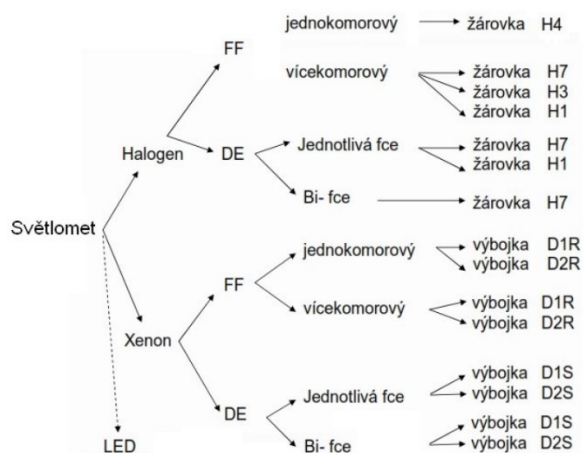
V okamžiku, kdy budou tyto hodnoty překročeny, hrozí na komunikacích k odpoutání pozornosti řidiče nebo k jeho oslnění, což může vést k nebezpečné situaci. Pro osvětlování reklamních ploch je nutné zajistit světelné zdroje s dobrým podáním barev a také zohlednit životnost těchto zdrojů. V blízkosti semaforů se nesmí používat světelné zdroje, které by přispívaly k horší rozpoznatelnosti dopravní situace. [2]

3 Vyzařování potkávacích světel automobilů a oken (reklam)

3.1 Automobily

Všechna motorová vozidla musí mít takové světlomety, které jsou schopny vyzařovat tlumené a dálkové světlo. Světlomet se skládá z několika dílů a slouží k osvětlování okolí. Hlavní díly jsou: zdroj světla, optický systém a kryt světlometu. Mezi zdroje světla se řadí nejčastěji používané halogenové žárovky, xenonové výbojky nebo LED. Optický systém je tvořen odrazovou plochou, clonou, čočkou a vhodně tvarované krycí sklo, přes které vystupuje světlo. [10]

Automobilové světlomety se liší v závislosti na použitém typu světelného zdroje. Tyto světlomety můžeme rozdělit, jako je to naznačeno na obrázku (Obr. 3.1).



Obr. 3.1: Druhy světlometů [9]

Označení FF znamená, že je reflektor tvarovaný pomocí volných ploch, DE znamená použití trojdimenzionálního elipsoidu v modulu. Bi-fce znamená, že daný modul vykonává funkci potkávacího i dálkového světla. [9]

Veškeré světlomety podléhají přísným normám a musí být homologované. Předpisy EHK/OSN se v legislativě ČR nacházejí ve vyhlášce č. 100/2003 Sb. Většina předpisů zabývajících se osvětlením automobilu, se řadí do skupiny pro aktivní bezpečnost, např.:

R 06 – Směrová svítidla

R 07 – Obrysová, doplňková obrysová a brzdová světla

R 19 – Přední mlhové světlomety

R 37 – Žárovky pro homologované světlomety a svítilny

R 48 – Homologace vozidla z hlediska montáže světlometu a svítlen

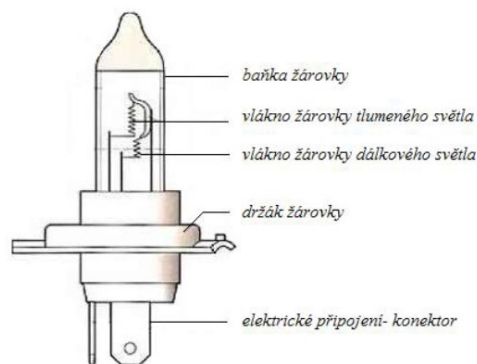
R 87 – Denní světla (DRL)

R 112 – Asymetrické světlomety

3.1.1 Halogenový světlomet

Halogenidové světlometry tvořily největší počet funkčních vozidel, ale dnes už se od nich upouští díky vývoji LED technologie. Zdroj světla u halogenových žárovek obstarává halogenová žárovka, elektrický proud prochází wolframovým vláknem, což má za následek rozžhavení vlákna.

Pro světla tlumené se používá označení LB (low beam) a pro světla dálkové se používá označení HB (high beam)



Obr. 3.2: Halogenová žárovka [9]

Parametry halogenových světlometů

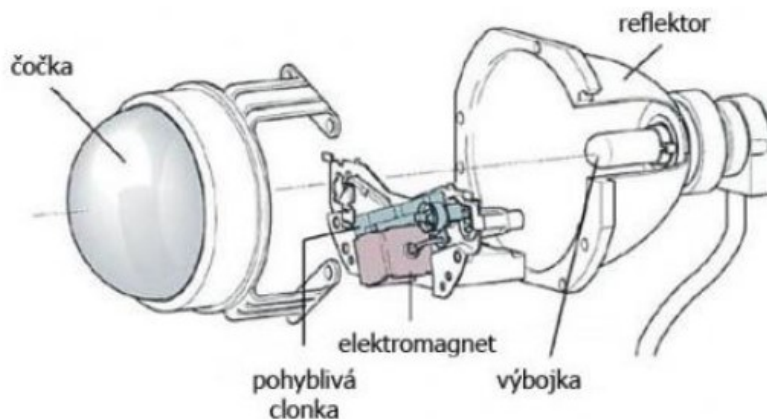
Příkon	55–65 W
Světelný tok	1 500-2 000 lm
Měrný světelný výkon	$26 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$
Teplota chromatičnosti	2 900-4 300 K
Životnost žárovky	400-550 hod.
Značení žárovek	H1, H4, H7, H15

Mezi hlavní výhody halogenových žárovek patří nízká cena, možnost výměny poškozené žárovky a jednoduchá konstrukce světlometu. Mezi nevýhody můžeme zařadit nízký měrný světelný výkon a krátkou životnost. [9]

3.1.2 Xenonový světlomet

Světlo vzniká mezi dvěma elektrodami při řízeném výboji v plynné atmosféře. Aby bylo dosaženo výboje, je nutné dosáhnout vysokého napětí až 20 000 VV. Po dosažení prvotního výboje, pracuje světlomet při 85 V / 100 Hz a je potřeba pro jejich připojení speciální měnič.

Standardní xenonové výbojky pracují pouze jako potkávací světla a dálkové osvětlení je řešeno pomocí halogenové žárovky. V případě, že se jedná o technologii bi-xenon, jedná se o sloučení potkávacího i dálkového světla do jedné výbojky.



Obr. 3.3: Bi-xenonový modul [9]

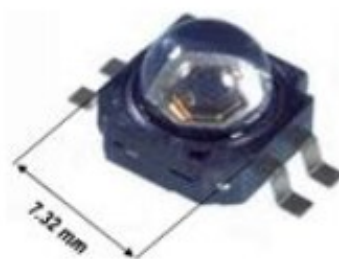
Parametry xenonových světlometů

Příkon	25-35 W
Světelný tok	1 600-3 500 lm
Měrný světelný výkon	až $95 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$
Náhradní teplota chromatičnosti	4000-12 000 K
Životnost žárovky	1 500-3 000 hod.
Značení žárovek	D (1, 2, 3, 5, 8) (S, R)

Mezi hlavní výhody xenonových světlometů patří jejich účinnost oproti halogenovým žárovkám, která je až dvakrát větší. Teplota chromatičnosti se blíží dennímu světlu, které je pro nás přirozenější. Oproti halogenovým žárovkám dosahují xenonové světlomety delší životnosti. Xenonové výbojky se používají převážně ve vyšší třídě automobilů. Důvodem je jejich vysoká cena, která je způsobena mnoha fakty. Veškeré xenonové světlomety musí být vybaveny ostřikovači, řídicí jednotkou a automatického naklápění výšky světla vůči aktuálnímu zatížení vozidla. Mezi další nevýhody se řadí nutnost odborné výměny v servisu. [9]

3.1.3 LED světlomet

Světelná dioda je elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem. Fyzikální princip LED diod je zcela odlišný oproti žárovkám či výbojkám, a proto má také mnoho rozdílných vlastností.



Obr. 3.4: LED chip pro světlomet [9]

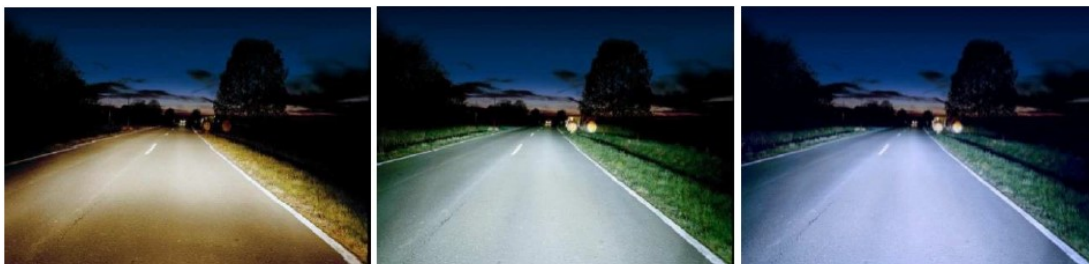
Parametry LED světlometů

Příkon	20-50 W
Světelný tok	250 lm / chip
Měrný světelný výkon	až $160 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$
Náhradní teplota chromatičnosti	6000 K
Životnost žárovky	až 50 000 hod.
Značení žárovek	single chip, multi chip

Mezi obrovské výhody LED diod používaných v automobilovém průmyslu, je náběh do plného světelného výkonu, který je řádově v jednotkách milisekund. Pro srovnání halogenové žárovky potřebují přibližně 200 ms, kdežto LED dioda potřebuje pouze 3 ms. Malé rozměry při vysokém měrném světelném výkonu umožňuje variabilní design. LED diody mají mnohem vyšší životnost oproti halogenovým žárovkám, ale je nutné jejich spolehlivé chlazení. V případě přehřátí hrozí poškození nebo dokonce zničení LED čipu. Další výhodou je odolnost vůči nárazům. [9]

3.1.4 Srovnání

Na následujícím obrázku (Obr. 3.5) můžeme vidět popisované světelné zdroje a jejich rozdílné chování. Jednoznačně rozdílná je teplota chromatičnosti. Při pohledu na xenonové výbojky a LED vidíme jasnější a také lepší zaostření vlivem vysokého světelného toku a vyšší teplotě chromatičnosti. [9]

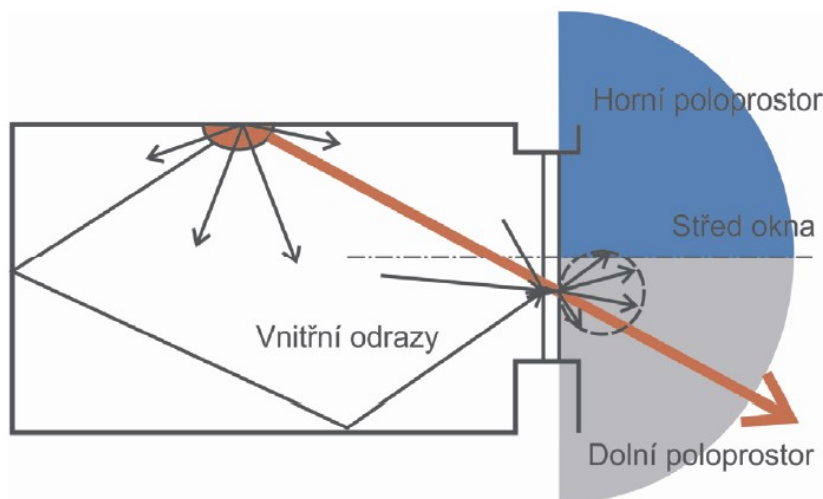


Obr. 3.5: Porovnání světelných zdrojů: Halogenové, Xenonové, LED [9]

3.2 Okna

Mezi zdroje rušivého světla můžeme zařadit okna. Na obrázku (Obr. 3.6) můžeme vidět znázorněný světelný tok vyzařovaný oknem do horního poloprostoru. Velikost tohoto vyzařování závisí na umístění světelného zdroje v místnosti a na chránících prvcích (žaluzie, závěsy apod.). [2]

Při měření oken byla intenzita jasu některých oken až $40 \text{ cd} \cdot \text{m}^2$. Průměrná hodnota naměřených oken činí $6 \text{ cd} \cdot \text{m}^2$. Jelikož se bytové domy tyčí do vysokých výšek, je podíl vyzařování oken do horního poloprostoru nezanedbatelný. Problematické jsou také prosklené kanceláře, které dost často nemají dostatečné chránící prvky, ale také výlohy obchodníků. U vyzařování oken je převaha přímé složky, ale malou část způsobuje také odražená složka světla.



Obr. 3.6: Světelný tok vyzařovaný z oken do horního poloprostoru [2]

4 Okrajové podmínky pro modelování vyzařování umělých světelných zdrojů do horního poloprostoru

4.1 Udržovací činitel

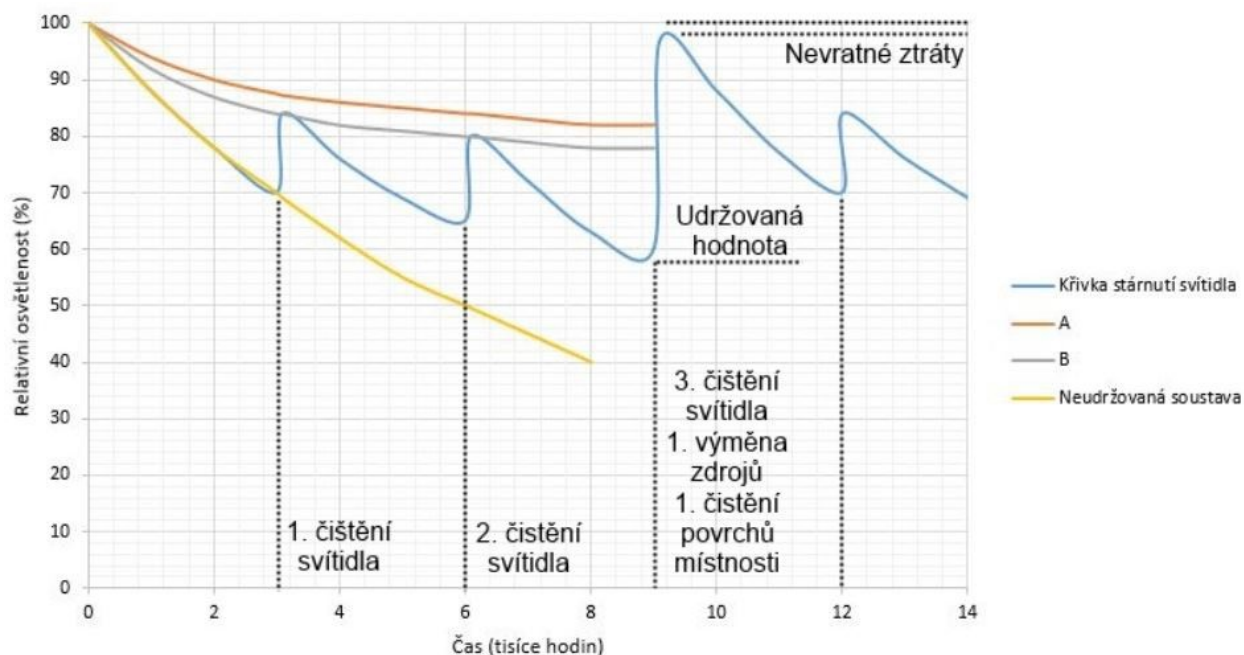
Všechny osvětlovací soustavy se od uvedení do provozu znehodnocují. Toto znehodnocení probíhá jak ve vnitřních, tak ve venkovních osvětlovacích soustavách a tím se postupně snižuje hladina osvětlenosti. Je to způsobeno usazováním nečistot a prachu na všech nechráněných površích světelných zdrojů nebo svítidel. Tímto znečištěním se snižuje činitel prostupu nebo odrazu, ale také úbytek světelného toku zdrojů, jejich vyhořením a stárnutím povrchů. Jelikož se osvětlenost snižuje postupně, je poměrně těžké to zpozorovat pouhým okem. Pokud tyto faktory nejsou vzaty v úvahu, dochází ke snižování osvětlenosti na takové hodnoty, až se osvětlovací soustava stává z hygienického hlediska nevyhovující, z energetického hlediska neúčinnou a z estetického hlediska nevzhlednou.

I při velmi dobře navrženém plánu údržby dochází k poklesu světelného toku. Osvětlovací soustava musí být navržena a předimenzovaná tak, aby i v době, kdy je hodnota udržovacího činitele nejnižší, splňovala velikost požadované (udržované) osvětlenosti. Při dimenzování osvětlovací soustavy se vychází z tzv. *udržovacího činitele* (MF – *maintenance factor*). Tento udržovací činitel je definován jako podíl průměrné udržované osvětlenosti \bar{E}_m a průměrné osvětlenosti \bar{E}_0 zajištěné osvětlovací soustavou v novém stavu.

$$MF = \frac{\bar{E}_m}{\bar{E}_0} \quad (4.1)$$

Na následujícím obrázku (Obr. 4.1) je uveden a znázorněn rozdíl mezi udržovanou a neudržovanou osvětlovací soustavou. Můžeme si všimnout, že neudržovaná soustava se po 6 tisících hodinách může dostat až na 50 % její původní osvětlenosti. Pokud ale danou soustavu udržujeme a staráme se o ní podle plánu údržby, můžeme se s naprosto stejnou osvětlovací soustavou dostat na 80% původní osvětlenosti pouhým čištěním svítidla. Z grafu je ale nejvýznamnější bod při 9 tisících hodinách, kdy se dostáváme z hodnoty 60 % na hodnotu zhruba 97 %. Tento nárůst vzniká díky hromadné či individuální výměně svítidel, výměně zdrojů a čištění povrchů místnosti, čímž se zvýší činitele odrazu. [11]

V modelovaném projektu počítáme s udržovacím činitelem 1. Osvětlovací soustava se tedy chová, jako by byla nová.



Obr. 4.1: Pokles relativní osvětlenosti v závislosti na čase [11]

4.2 Optické zákony

V oblasti světelné techniky musíme počítat také s různými materiály a je nutné znát jejich vlastnosti. K popisu světelně technických vlastností daných materiálů rozlišujeme tři základní činitele. Spektrální činitel představující odraznost materiálů se označuje $\rho(\lambda)$, pro propustnost $\tau(\lambda)$ a pro pohltivost $\alpha(\lambda)$ a platí pro ně vztah

$$\rho(\lambda) + \tau(\lambda) + \alpha(\lambda) = 1 \quad (4.2)$$

Dopadající světelný tok Φ si můžeme vyjádřit pomocí vztahu:

$$\Phi_\rho + \Phi_\tau + \Phi_\alpha = \Phi \quad (4.3)$$

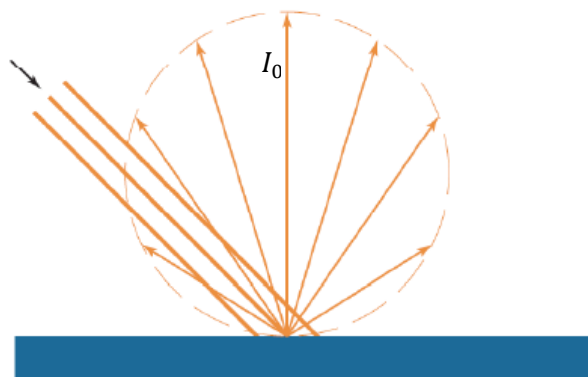
kde Φ_ρ – světelný tok odražený, Φ_τ – světelný tok prostupu materiálem a Φ_α – světelný tok pohlcený materiálem. [2]

Rovnoměrně rozptýlený, difúzní odraz

Při difúzním odrazu dochází k rovnoměrnému rozptýlu odraženého záření do celého prostoru, přičemž maximální svítivost je v kolmém směru I_0 . Pokud chceme spočítat svítivost v jiném uhlu, počítá se podle Kosinového zákona

$$I_\gamma = I_0 \cdot \cos \gamma \quad (4.4)$$

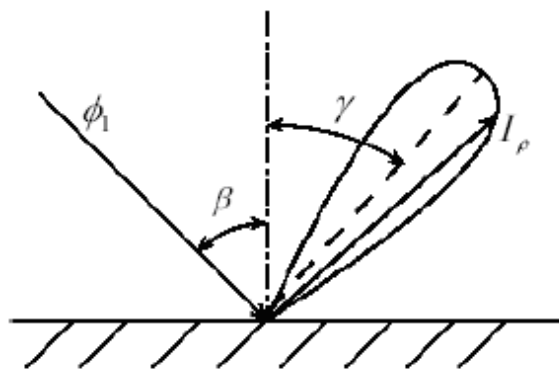
Předměty, které dokonale rozptylují odraženého záření, se nazývají Lambertovy zářiče.



Obr. 4.2: Difuzní odraz (Lambertův zářič) [2]

Směrově difúzní odraz

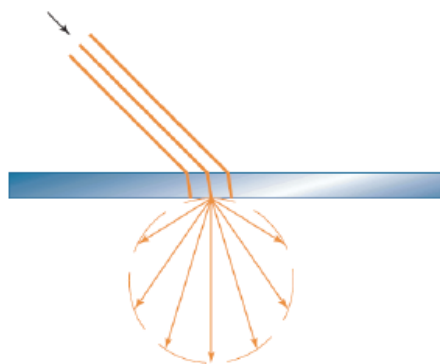
U směrově difuzního odrazu převažuje odražená složka záření v některém směru. [7]



Obr. 4.3: Směrově difuzní odraz [7]

Difuzní prostup

K difuznímu prostupu záření dochází u materiálu s dokonale rozptylujícími vlastnostmi. Vystupující záření je vyzařující do všech směrů. Podobně jako tomu bylo u difúzního odrazu, je i u difuzního prostupu zářením maximální hodnota v kolmém směru.



Obr. 4.4: Difuzní prostup [2]

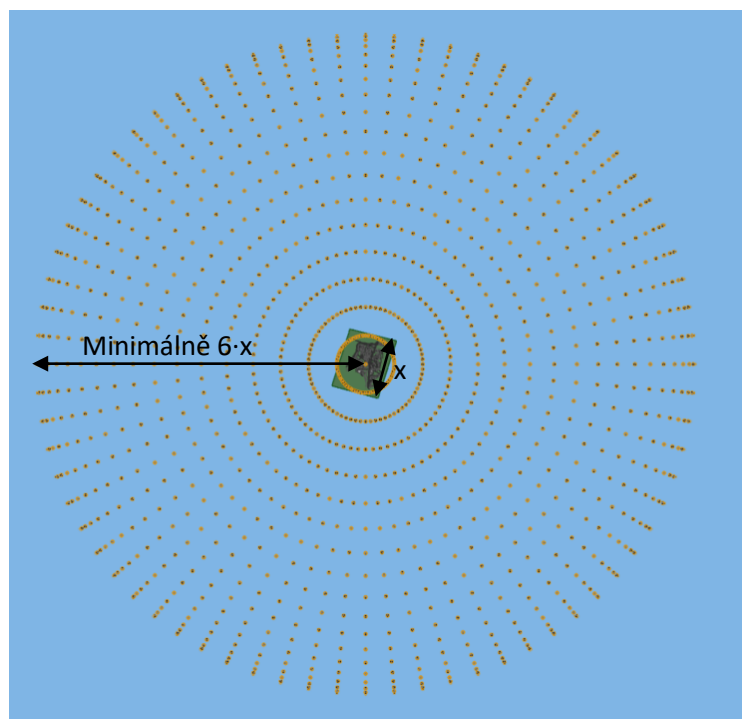
Abychom dosáhli větší přesnosti výpočtu, je nutné počítat s činitelem odrazu materiálu v místě osvětlování. Například povrch vozovky je standardizován třídami R1, R2, R3 a činitelem odrazu 0,07 až 0,10. Následující tabulka (Tab. 4.1) představuje typické činitele odrazností různých materiálů. [7]

Tab. 4.1: Činitele odrazu typických materiálů [7]

Materiál	Odraznost (%)
Pískovec	18
Cihla	30-48
Cement	27
Beton	40
Půda	7
Tráva (tmavě zelená)	6
Tráva (světlá)	18
Štěrk	13
Mramor	45
Barva (bílá)	55-75
Sníh	64-74
Vegetace	25

4.2 Bodový zdroj

Abychom dosáhli správných výsledků, musíme zajistit, aby se daný model choval jako bodový zdroj. Pod pojmem bodový zdroj si můžeme představit takový zdroj světla, jehož rozměry jsou zanedbatelné vzhledem ke vzdálenosti od pozorovatele (v našem případě se jedná o kruhovou soustavu hodnocených bodů). Ideální bodový zdroj je nekonečně malý a vyzařuje světlo rovnoměrně do všech směrů. Jelikož má skutečný bodový zdroj určité rozměry, způsobuje to chybu výpočtu. Aby byla chyba co nejmenší, volíme poloměr výpočetní kruhové soustavy minimálně šestkrát větší, než je nejdelší vzdálenost v navrhovaném modelu.

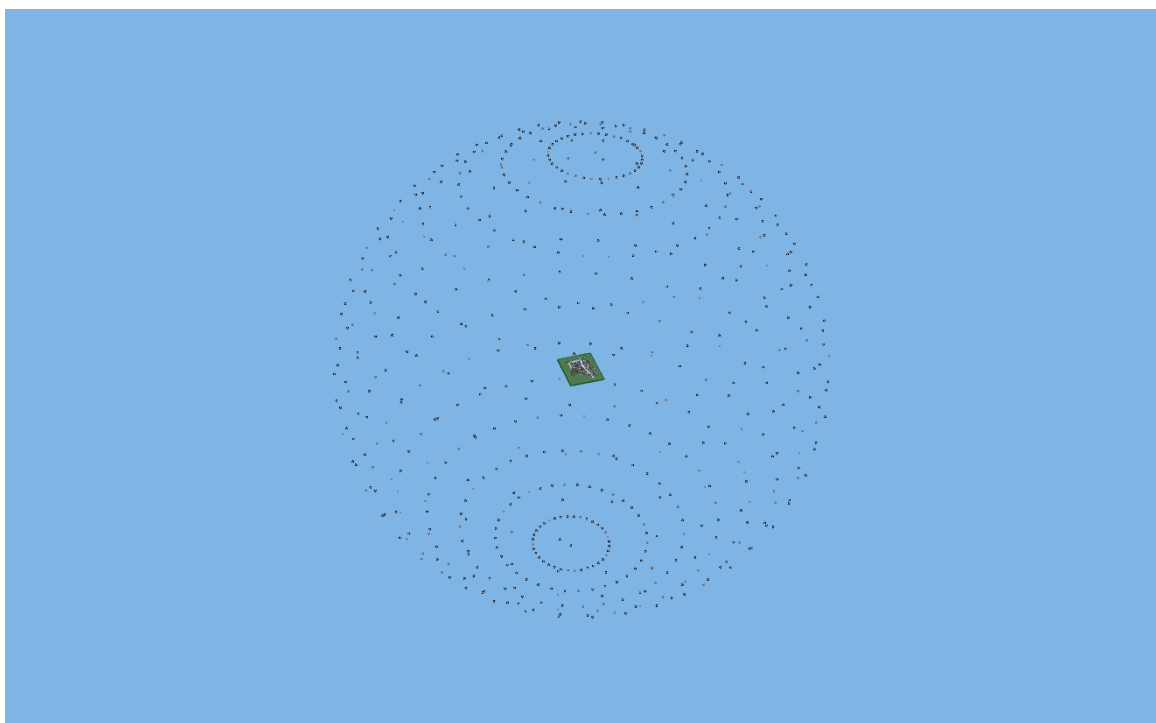


Obr. 4.5: Kruhová výpočetní síť

5 Porovnání vlivů jednotlivých světelných zdrojů v rámci intravilánu obce

Neúplný model diplomové práce jsem převzal od Ing. Vijaya Sarathi Govindarajan. Ten v projektu použil 300 svítidel veřejného osvětlení, 400 simulovaných oken, 10 reklamních ploch o jas $50 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, a 20 simulovaných aut. Vzhledem k chaotickému uspořádání oken, reklamních ploch a aut, jsem byl nucen je smazat a pracovat pouze se svítidly veřejného osvětlení, které korespondovaly s rozložením podle seznamu. Tuto práci jsem poté rozšířil a vylepšil.

Pro modelování jsem použil volně dostupný software BuildingDesign od společnosti Astra MS Software. Tento program byl využit hlavně z důvodu možnosti modelování rušivého světla do horního poloprostoru. Tento výpočet spočívá v tom, že modelovaný projekt vložíme do sítě výpočetních bodů ve tvaru koule, která se chová principiálně jako softwarový goniofotometr. Ve výpočtu jsem se zabýval jak přímou, tak odraženou složkou světla. Přímá složka světla znamená, kolik procent světelného toku daného světelného zdroje se vyzáří přímo do horního poloprostoru. Při odražené složce světla uvažujeme s odrazem světelného toku od různých povrchů s rozdílnými hodnotami odraznosti. Jednotlivé výsledky jsou zaznamenány jak v grafické, tak v číselné hodnotě. Vzhledem k velikosti mého modelu probíhal samotný výpočet 20 dní.



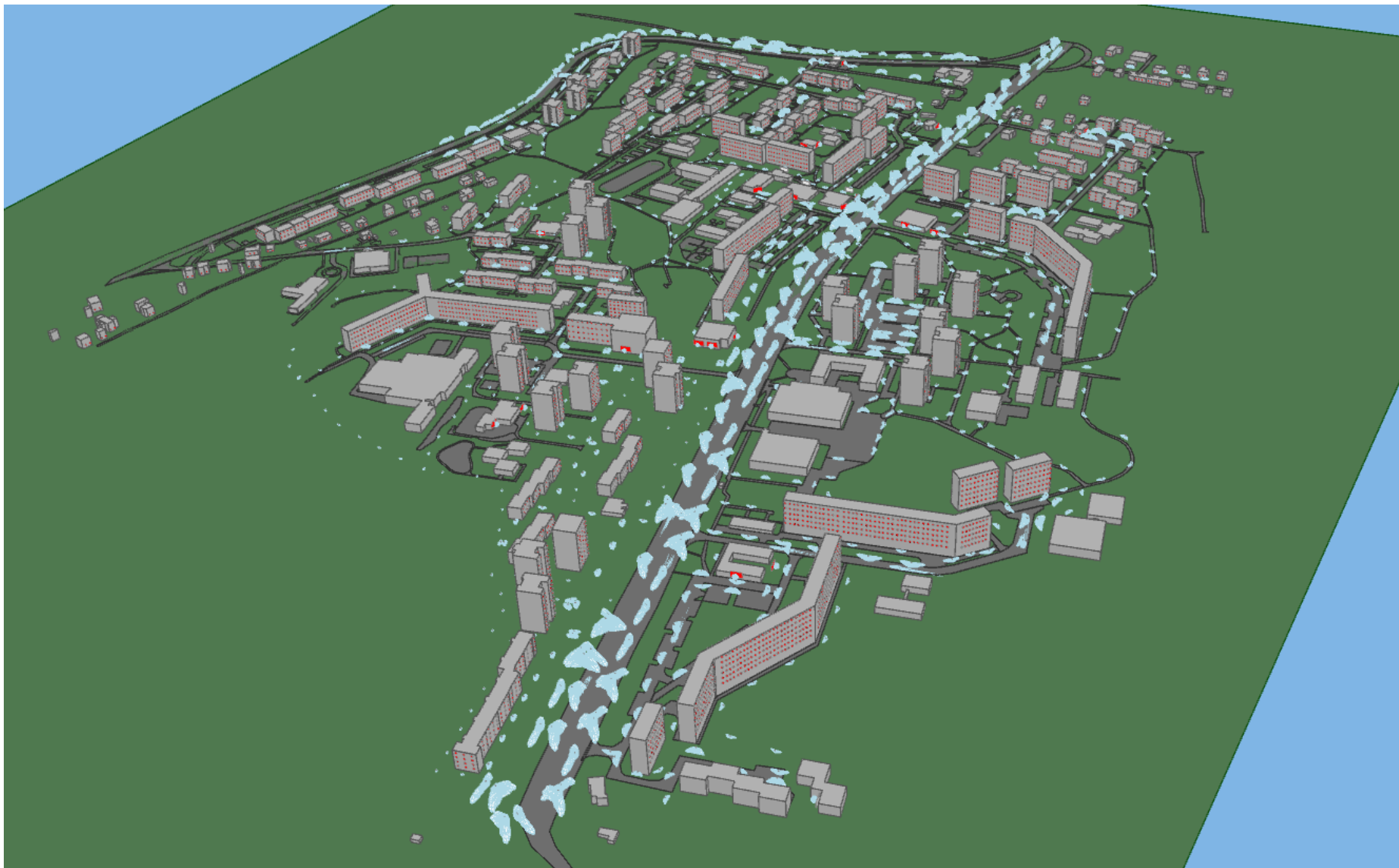
Obr. 5.1: Výpočtová síť modelu

5.1 Prostor

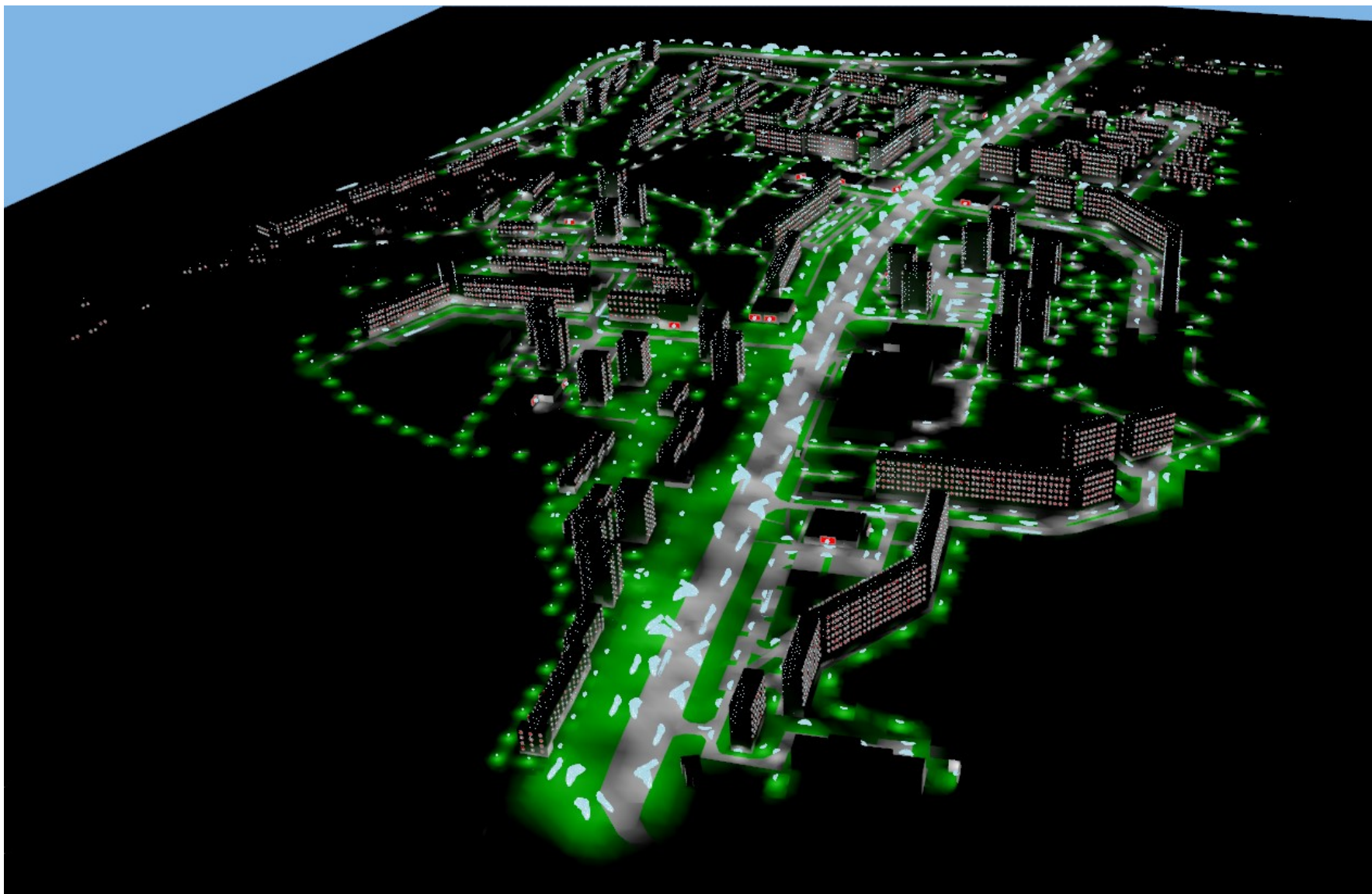
Návrh modelu tvoří městská čtvrť Výškovice ve městě Ostrava, která se nachází na zeměpisných souřadnicích 95°46'48.72" N, 18°13'22.8" E. Návrh je tvořen rozmístěním veřejného osvětlení, které činí 930 svítidel. Příkon těchto svítidel činí 50 773,8 W. Dále se v návrhu počítá s rozmístěním oken vyzařujících z bytových domů a rodinných domů, které činí 9 331 svítidel. Příkon těchto svítidel činí 373 240 W. Nedílnou součástí městské čtvrti jsou také automobily, kterých se v modelu nachází 50. Příkon těchto svítidel činí 55 000 W. Pod pojmem reklamní plochy si můžeme představit jak statické, tak dynamické plochy, ať už to jsou osvětlovací nápisy nad různými obchody či restauračními zařízení, nebo reklamní vitríny různých typů. Reklam umístěných v modelu činí 35 svítidel. Příkon těchto svítidel činí 10 500 W. Pokud bychom chtěli zařadit model do environmentální zóny podle normy ČSN EN 12464-2, patřil by do skupiny E4 – městské oblasti.



Obr. 5.2: Mapa modelované části Výškovice [11]



Obr. 5.3: 3D model Výškovice



Obr. 5.4: 3D model Výškovice (osvětlený)

5.2 Veřejné osvětlení

5.2.1 Světelné zdroje

Z následujících tabulek můžeme vidět různé typy svítidel použité v tomto projektu a jejich parametry. Z obrázků můžeme vidět tvary vyzařovací charakteristiky svítidel. Jedná se o zkrácený seznam svítidel. Kompletní seznam světelných zdrojů použitých pro veřejné osvětlování je uveden v příloze. Veškeré veřejné osvětlení bylo vkládáno podle rozpisu svítidel organizace Ostravské komunikace a.s. Jelikož nebyly k dispozici hodnoty pro naklopení svítidla, byly vkládány pod úhlem 0°. Celkem je vloženo 930 svítidel veřejného osvětlení o elektrickém příkonu $P_{celk.} = 50\,458\text{ W}$. LED svítidla tvoří 726 kusů s celkovým příkonem 26 898 W. Vysokotlaké jsou tvořené 204 kusy svítidel s celkovým příkonem 23560 W. Zde si můžeme všimnout, že LED světél je 3,5× více, ale celkový elektrický příkon je téměř totožný s příkonem vysokotlakých sodíkových výbojek. Vzhledem k tomu, že se nepodařilo najít LDT soubory ostatních vysokotlakých sodíkových výbojek firmy Philips, bylo po odborné konzultaci zvoleno řešení nahradit je svítidly firmy Artechnic Schröder s podobnou vyzařovací charakteristikou a se stejně velkým světelným tokem.

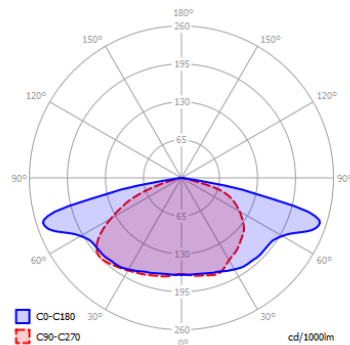
Artechnic Schröder



Obr. 5.5: Svítidla Artechnic Schröder Voltana [12]

Tab. 5.1: Parametry svítidla Voltana 2 (28,1 W)

Typ svítidla	Voltana 2
Rozměry svítidla (mm)	518×108,5×240
Příkon svítidla P_s (W)	28,1
Světelný tok svítidla Φ_s (lm)	3 456
Měrný výkon η (lm · W ⁻¹)	138
Počet svítidel n (ks)	77
Celkový příkon soustavy $P_{celk.}$ (W)	2 156
Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)	266 112



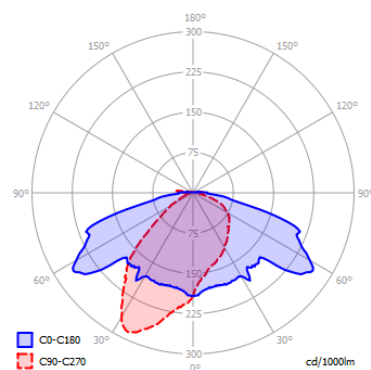
Obr. 5.6: Křivky svítivosti svítidla Voltana 2 (28,1 W)



Obr. 5.7: Svítidlo Artechnic Schröder MC 2 [12]

Tab. 5.2: Parametry svítidla MC 2 (150 W)

Typ svítidla	MC 2
Rozměry svítidla (mm)	705×255×310
Příkon svítidla P_s (W)	150
Světelný tok svítidla Φ_s (lm)	17 500
Měrný výkon η (lm · W⁻¹)	117
Počet svítidel n (ks)	98
Celkový příkon soustavy $P_{celk.}$ (W)	14 700
Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)	1 715 000



Obr. 5.8: Křivky svítivosti svítidla MC 2 (150 W)

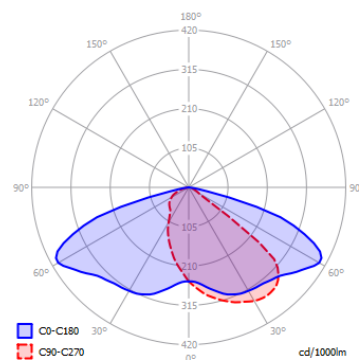
Thorn Lighting



Obr. 5.9: Svítidlo Thorn Lighting R2L2 [13]

Tab. 5.3: Parametry svítidla R2L2 (20 W)

Typ svítidla	R2L2
Rozměry svítidla (mm)	655×362×155
Příkon svítidla P_s (W)	20
Světelný tok svítidla Φ_s (lm)	2 632
Měrný výkon η (lm · W ⁻¹)	131,6
Počet svítidel n (ks)	93
Celkový příkon soustavy $P_{celk.}$ (W)	1 860
Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)	244 776



Obr. 5.10: Křivky svítivosti R2L2 (20 W)

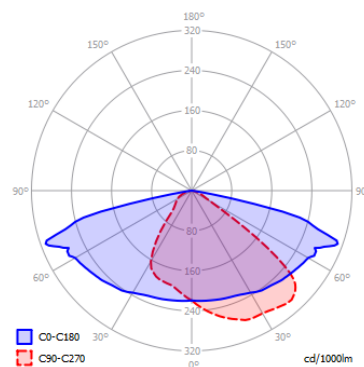
Philips



Obr. 5.11: Svítidlo Philips BGP621 [14]

Tab. 5.4: Parametry svítidla BGP621 (24,5 W)

Typ svítidla	BGP621 Mini Luma
Rozměry svítidla (mm)	880×370×155
Příkon svítidla P_s (W)	24,5
Světelný tok svítidla Φ_s (lm)	4 000
Měrný výkon η (lm · W ⁻¹)	163
Počet svítidel n (ks)	48
Celkový příkon soustavy $P_{celk.}$ (W)	1 176
Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)	192 000



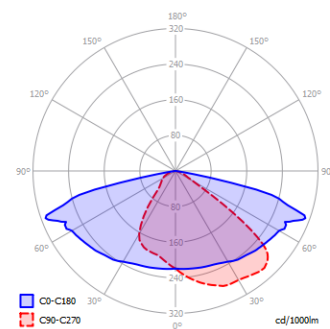
Obr. 5.12: Křivky svítivosti BGP621 (24,5 W)



Obr. 5.13: Svítidlo Philips BGP615 [14]

Tab. 5.5: Parametry svítidla BGP615 (28 W)

Typ svítidla	BGP615 Micro Luma
Rozměry svítidla (mm)	622×290×120
Příkon svítidla P_s (W)	28
Světelný tok svítidla Φ_s (lm)	4 400
Měrný výkon η (lm · W⁻¹)	157
Počet svítidel n (ks)	56
Celkový příkon soustavy $P_{celk.}$ (W)	1 568
Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)	246 400



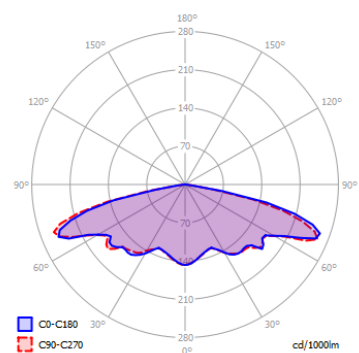
Obr. 5.14: Křivky svítivosti BGP615 (28 W)



Obr. 5.15: Svítidlo Philips BPP611 [14]

Tab. 5.6: Parametry svítidla BPP611 (47 W)

Typ svítidla	BPP611 Stela Round
Rozměry svítidla (mm)	600×195
Příkon svítidla P_s (W)	47
Světelný tok svítidla Φ_s (lm)	5 100
Měrný výkon η (lm · W ⁻¹)	109
Počet svítidel n (ks)	7
Celkový příkon soustavy $P_{celk.}$ (W)	329
Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)	35 700



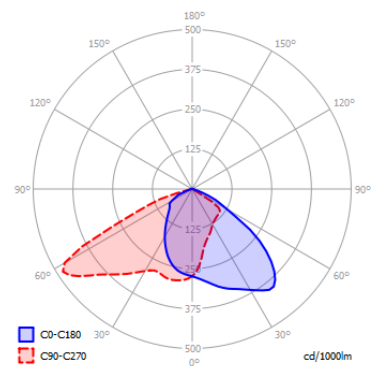
Obr. 5.16: Křivky svítivosti BPP611 (47 W)



Obr. 5.17: Svítidlo Philips BPP612 [14]

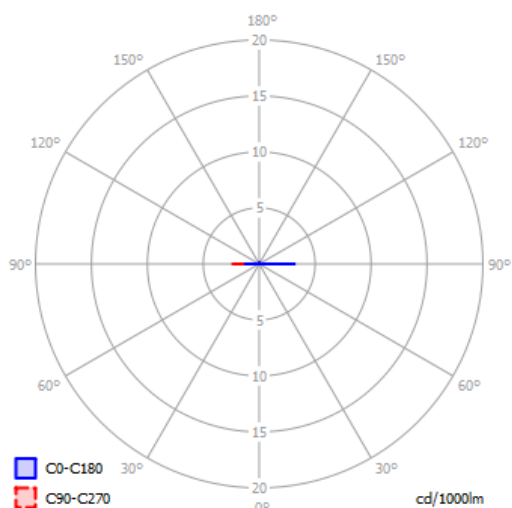
Tab. 5.7: Parametry svítidla BPP612 (36 W)

Typ svítidla	BPP612 Stela Wide
Rozměry svítidla (mm)	445×660×125
Příkon svítidla P_s (W)	36
Světelný tok svítidla Φ_s (lm)	4 000
Měrný výkon η (lm · W ⁻¹)	111
Počet svítidel n (ks)	107
Celkový příkon soustavy $P_{celk.}$ (W)	3 852
Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)	144 000

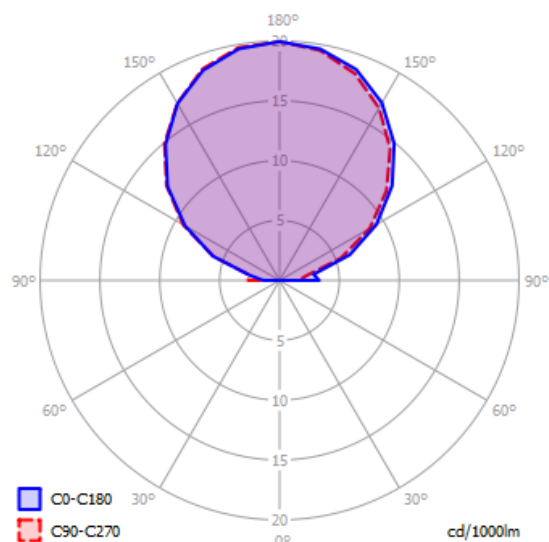


Obr. 5.18: Křivky svítivosti BPP612 (36 W)

5.2.2 Srovnání vyzařovací charakteristiky veřejného osvětlení



Obr. 5.20: Vyzařovací charakteristika přímé složky veřejného osvětlení



Obr. 5.19: Vyzařovací charakteristika přímé + odražené složky veřejného osvětlení

Tab. 5.8: Hodnoty vyzařujícího světelného toku do horního poloprostoru pro veřejné osvětlení

Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)		6 266 551	
Složka	Přímá	Přímá + odražená	
Vyzařování do horního poloprostoru ULR (%)	0,2	6,1	
Světelný tok vyzařující do horního poloprostoru Φ (lm)	12 533	382 260	

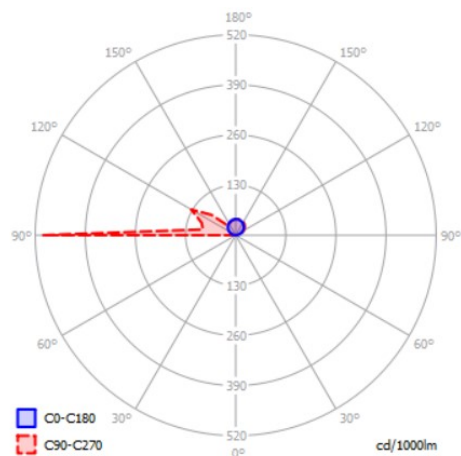
Z tabulky i z křivek svítivosti můžeme vidět, že veřejné osvětlení navržené v městské části Výškovice nevyzařuje primárně do horního poloprostoru. Do horního poloprostoru z celkového světelného toku 6 266 551 lm vyzařuje primárně pouze 0,2 %. Výsledná hodnota vyzařovaného světelného toku přímou složkou je 12 533 lm. Tato hodnota je ovlivněna starou osvětlovací soustavou vysokotlakých sodíkových výbojek firmy Schröder modelem MC 2. Nová osvětlovací soustava tvořena z LED svítidel dosahuje 0 % vyzařování přímého světelného toku do horního poloprostoru. Při pohledu na složku přímou + odraženou, můžeme vidět, že soustava má charakter podobající se Lambertovu zářiči, což je zapříčiněno difúzním odrazem. Hodnota přímé a odražené složky dosahuje 6,1 %, což je 382 260 lm vyzařujících do horního poloprostoru.

5.3 Auta

5.3.1 Světelné zdroje

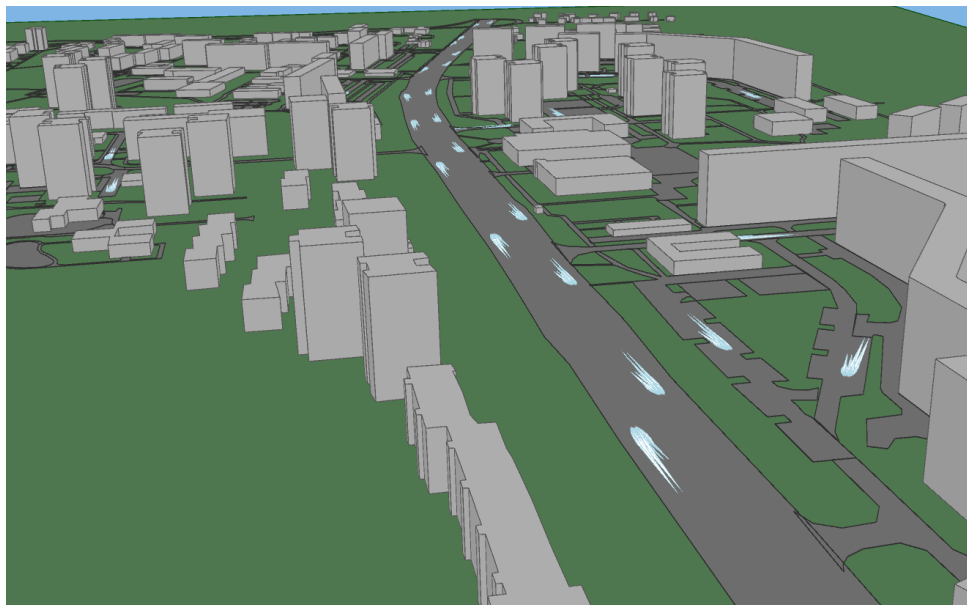
Tab. 5.9: Parametry světelných zdrojů pro automobily

Typ svítidla	Hella H7
Příkon svítidla P_s (W)	55
Světelný tok svítidla Φ_s (lm)	573,43
Počet svítidel n (ks)	100
Celkový příkon soustavy $P_{celk.}$ (W)	55 000
Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)	573 430



Obr. 5.21: Vyzářovací charakteristika automobilů

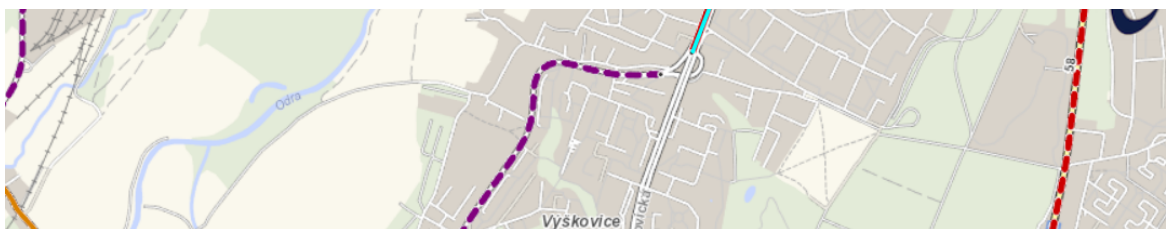
5.3.2 Popis



Obr. 5.22: 3D model s navrhnutými automobily

Jelikož se zabývám reálným modelem městské oblasti Ostrava Výškovice, pro určení množství aut na komunikaci jsem využil veřejně dostupného sčítání dopravy Ředitelství silnic a dálnic ČR. Vzhledem k tomu, že sčítání dopravy probíhá jednou za 6 let, bral jsem data z posledního roku 2006. Zaměřil jsem se na intenzitu dopravy večer, v rozmezí 18:00 – 22:00 hodin. Pro správné odvození je nutno znát celkový počet aut na dané komunikaci. Na komunikaci Výškovická se v tomto časovém rozmezí pohybuje celkem 2 586 účastníků dopravy. Z toho se jedná o 2 520 osobních automobilů a 54 nákladních automobilů. Na ulici Proskovické se v tomto časovém rozmezí pohybuje celkem 823 účastníků dopravy. Z toho se jedná o 800 osobních automobilů a 23 nákladních automobilů. V našem případě nerozlišujeme, zda se jedná o osobní či nákladní automobil, ale o celkový počet vozidel, neboť rozdíl v tomto případě je zanedbatelný. Nejprve jsem si musel změřit danou komunikaci pomocí online map. Pro správné určení počtu aut je důležité vědět maximální rychlost v daném místě. Jelikož se jedná o městskou část, pro ulici Výškovická i Proskovická je tato rychlost stanovena na 50 km/h. Při přepočtu na m/s zjistíme, jak dlouho nám trvá projet danou komunikaci. Abychom zjistili počet aut za minutu, musíme celkový počet aut vydělit 240 minutami.

Ulice Výškovická



Sčítání dopravy 2016 (sč.úsek: 7-2542)

... význam zkratk

Roční průměr denních intenzit dopravy		LN	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	TR	TRP	TV	O	M	SV			
RPDI - všechny dny	voz/den	788	143	3	92	9	11	30	106	2	2	1 186	18 431	100	19 717			
		LN	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	TR	TRP	TV	O	M	SV			
RPDI - pracovní den (Po-Pá)	voz/den	975	177	4	114	11	14	35	131	2	2	1 465	19 475	93	21 033			
RPDI - volné dny (mimo svátky)	voz/den	319	58	1	37	3	3	18	43	1	1	484	15 820	117	16 421			
Hodinová intenzita dopravy													TV	SV				
Padesátirázová intenzita dopravy	voz/h												145	2 405				
Špičková hodinová intenzita dopravy	voz/h												132	2 189				
Těžká nákladní vozidla - TNV													TNV					
Hodnota TNV	voz/den													485				
Intenzita dopravy pro hlukové a emisní výpočty													OA	NA	NS	Celkem		
Roční průměr intenzit, den (06-18)	voz/den	Tabulky s intenzitami dopravy pro hlukové a emisní výpočty vznikly přepočtem z RPDI pomocí TP 219 platných v době prezentace výsledků CSD 2016. Pro aktuální výpočty je nutné použít platné TP 219.											14 880	1 002	19	15 901		
Roční průměr intenzit, večer (18-22)	voz/den												2 520	64	2	2 586		
Roční průměr intenzit, noc (22-06)	voz/den												1 131	97	2	1 230		
Emise													OA	LNA	TNA	NS	BUS	Celkem
Roční špičková hodinová intenzita dopravy	voz/h												2 650	113	34	3	19	2 819
Koeficienty nerovnoměrnosti dopravy													alfa	beta	gama	PS		
Koeficient nerovnoměrnosti dopravy	-												0.00	0.00	0.00	-		
Intenzita cyklistické dopravy													C					
Cyklistická doprava	cyklo/den												87					

Obr. 5.23: Hodnoty sčítání dopravy pro ulici Výškovická [15]

$$50 \text{ km/h} = 13,88 \text{ m/s} \quad (5.1)$$

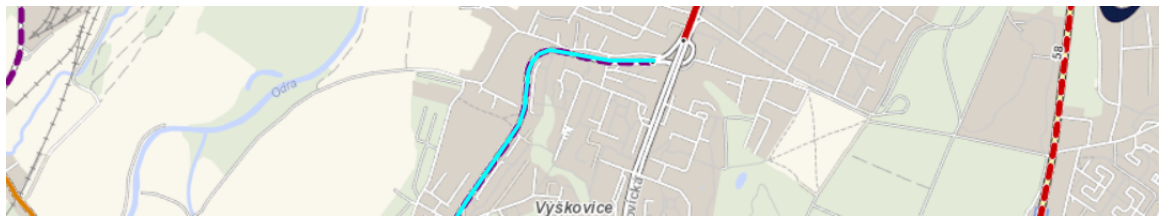
$$\frac{1500}{13,88} = 108,7 \text{ s} = 1,8 \text{ minut} \quad (5.2)$$

$$\frac{2586}{4} = 625 \text{ aut/hodinu} \quad (5.3)$$

$$\frac{625}{60} = 10,41 \text{ aut/minutu} \quad (5.4)$$

$$10,41 \cdot 1,8 = 19 \text{ aut} \quad (5.5)$$

Ulice Proskovická



Sčítání dopravy 2016 (sč.úsek: 7-2549) ... význam zkratk

Roční průměr denních intenzit dopravy		LN	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	TR	TRP	TV	O	M	SV		
RPDI - všechny dny	voz/den	256	28	0	24	1	0	67	44	0	0	420	5 863	19	6 302		
RPDI - pracovní den (Po-Pá)	voz/den	317	35	0	30	1	0	78	54	0	0	515	6 363	18	6 896		
RPDI - volné dny (mimo svátky)	voz/den	104	11	0	10	0	0	41	18	0	0	184	4 613	22	4 819		
Hodinová intenzita dopravy												TV		SV			
Padesátirázová intenzita dopravy	voz/h											51		769			
Špičková hodinová intenzita dopravy	voz/h											47		700			
Těžká nákladní vozidla - TNV														TNV			
Hodnota TNV	voz/den													188			
Intenzita dopravy pro hlukové a emisní výpočty												OA	NA	NS	Celkem		
Roční průměr intenzit, den (06-18)	voz/den	Tabulky s intenzitami dopravy pro hlukové a emisní výpočty vznikly přepočtem z RPDI pomocí TP 219 platných v době prezentace výsledků CSD 2016. Pro aktuální výpočty je nutné použít platné TP 219.										4 719	361	1	5 081		
Roční průměr intenzit, večer (18-22)	voz/den											800	23	0	823		
Roční průměr intenzit, noc (22-06)	voz/den											363	35	0	398		
Emise												OA	LNA	TNA	NS	BUS	Celkem
Roční špičková hodinová intenzita dopravy	voz/h											841	37	7	0	16	901
Koeficienty nerovnoměrnosti dopravy												alfa	beta	gamma	PS		
Koeficient nerovnoměrnosti dopravy	-											0.00	0.00	0.00	-		
Intenzita cyklistické dopravy															C		
Cyklistická doprava	cyklo/den														117		

7. aktualizace tabulky o výsledku sčítání u mrazáku a funkční od měřiče 1-160000

Obr. 5.24: Hodnoty sčítání dopravy pro ulici Proskovická [15]

$$50 \text{ km/h} = 13,88 \text{ m/s} \quad (5.6)$$

$$\frac{1300}{13,88} = 94 \text{ s} = 1,6 \text{ minut} \quad (5.7)$$

$$\frac{823}{4} = 205 \text{ aut/hodinu} \quad (5.8)$$

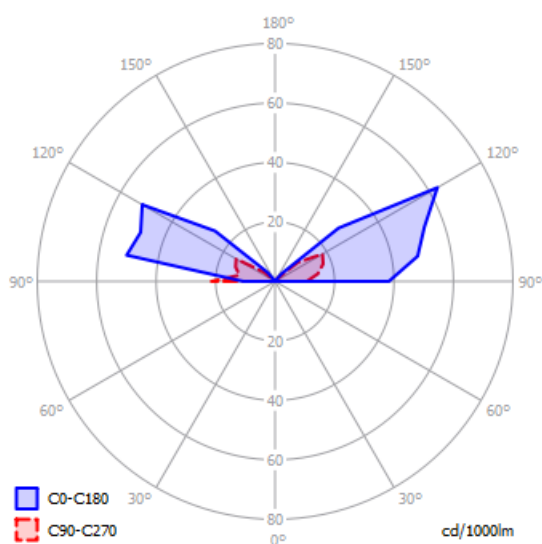
$$\frac{625}{60} = 3,5 \text{ aut/minutu} \quad (5.9)$$

$$3,5 \cdot 1,6 = 6 \text{ aut} \quad (5.10)$$

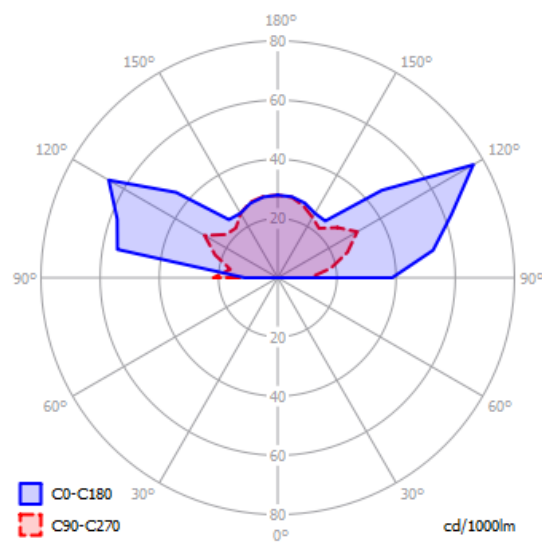
Z výpočtu můžeme vidět, že na ulici Výškovická a Proskovická se v jednu dobu může nacházet 25 aut. Výpočet je řešen tak, že auta nezastavují na semaforech a že se nezdrží déle, než je třeba, ale pouze projedou danou ulicí v rychlosti 50 km/h. Z toho vyplývá, že pokud bude dopravní kolize, může se na ulicích nacházet více aut. Dále jsem počítal s úvahou, že daná auta odbočí z ulice hlavní a budou chtít zaparkovat. Pro jednoduchost jsem volil čas od opuštění hlavní silnice po zaparkování na místo 1,6 – 1,8 minuty. Jelikož se jedná o stejný čas jako trvá účastníkům projet silnici Výškovická a Proskovická, je počet účastníků vynásoben dvěma. Proto jsem do projektu navrhnul celkem 50 aut což znamená 100 světelných zdrojů.

Při přepočtu na celkový elektrický příkon automobilů, kdy jeden světelný zdroj žárovky H7 má příkon $P_s = 55 \text{ W}$ tvoří automobily soustavu o elektrickém příkonu $P_{celk.} = 55\,000 \text{ W}$.

5.3.3 Srovnání vyzařovací charakteristiky automobilů



Obr. 5.25: Vyzařovací charakteristika přímé složky automobilů

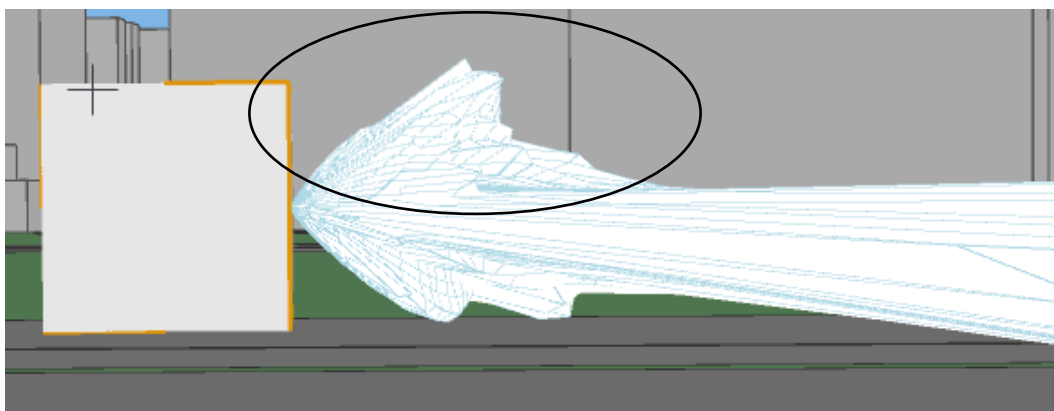


Obr. 5.26: Vyzařovací charakteristika přímé + odražené složky automobilů

Tab. 5.10: Hodnoty vyzařujícího světelného toku do horního poloprostoru pro automobily

Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)		57 343
Složka	Přímá	Přímá + odražená
Vyzařování do horního poloprostoru ULR (%)	13,70	22,20
Světelný tok vyzařující do horního poloprostoru Φ (lm)	7 856	12 730

Z tabulky (Tab. 5.10) můžeme vidět, že celkový světelný tok všech automobilů je 57 343 lm. Ačkoliv všechny automobilové světlomety jsou směřované primárně do dolního poloprostoru, aby neoslňovaly protijedoucí řidiče, část světelného toku musí směřovat do horního poloprostoru z důvodu osvětlování dopravních značení. Společně s vyzařováním přímého světla do horního poloprostoru produkuje světlomet také parazitní světlo (Obr. 5.27). Parazitním světlem rozumíme světelné odrazy od paraboly, které negativně působí na protijedoucí automobily. To má zapříčinění, že u složky přímé vyzařují světlomety 13,70 %, což činí 7 856 lm. Přímá + odražená složka tvoří 22,20 % což činí 12 730,146 lm. Na obrázku (Obr. 5.21) se nachází vyzařovací charakteristika světelného zdroje pro automobil. Konkrétně se jedná o potkávací halogenovou žárovku H7 od firmy HELLA, kterou jsem používal jako zdroj pro osobní automobily.



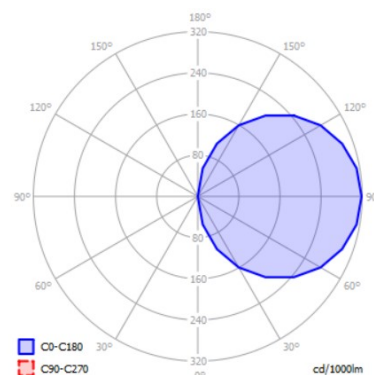
Obr. 5.27: Přímý + parazitní světelný tok

5.4 Okna

5.4.1 Světelné zdroje

Tab. 5.11: Parametry světelných zdrojů pro okna

Typ svítidla	Okno
Rozměry svítidla (mm)	1 200 × 1 200
Příkon svítidla P_s (W)	40
Světelný tok svítidla Φ_s (lm)	27
Počet svítidel n (ks)	9 331
Celkový příkon soustavy $P_{celk.}$ (W)	373 240
Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)	251 937



Obr. 5.28: Vyzařovací charakteristika oken

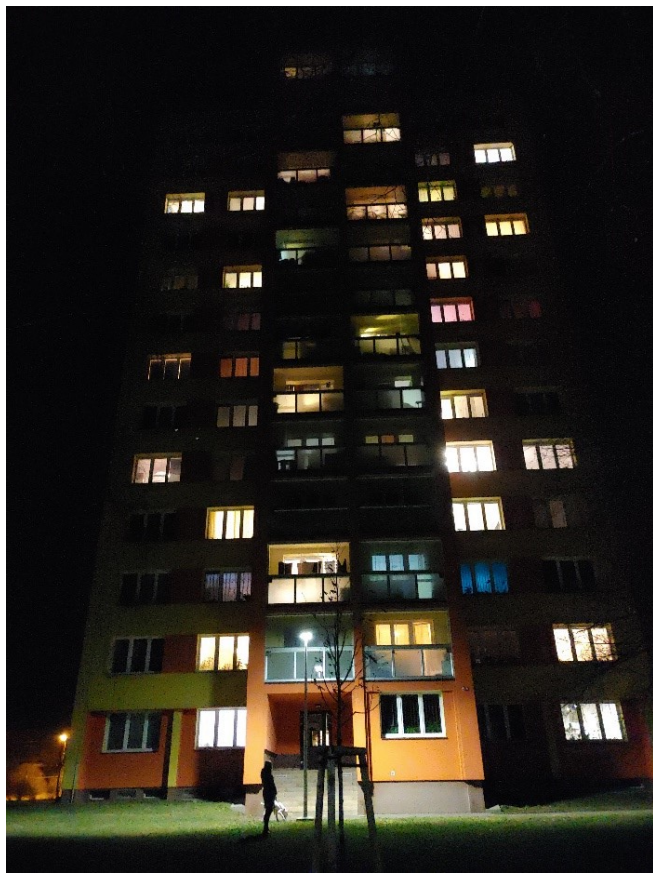
5.4.2 Popis



Obr. 5.29: 3D model s navrhnutými okny

Nedílnou součástí každého městského obvodu patří výškové, či rodinné domy. V části Výškovice žije okolo 18 tisíc obyvatel a převládají zde výškové bytové domy. Při uvažování počtu oken jsem vycházel z nafocených dat, které jsem pořídil 3. března 2021 v 19:00 hodin. Tuto noční hodinu jsem volil, abych se vešel do časového rozmezí 18:00 – 22:00 hodin, neboť v tomto časovém rozmezí jsem řešil hustotu dopravy. Na obrázku (Obr. 5.30) můžeme vidět bytový dům a počet oken, které mají rozsvícené světelné zdroje uvnitř místnosti vyzařující ven. Princip tohoto vyzařování je znázorněn na obrázku (Obr. 3.6). V tomto výškovém domě se nachází celkem 78 oken (Obr. 5.31) z toho pouze 40 oken vyzařuje světelný tok (Obr. 5.30). Po přepočtu jsem odvodil, že svítí vždy pouze 50 % oken, a tak jsem k tomu přistupoval při vkládání do modelu. Pomocí online map jsem si vždy vypočítal celkový počet řad a pater oken na daném bytovém domě. Aby bylo dosaženo 50 % všech oken, počet pater jsem vydělil dvěma a rozložil je na daném domě tak, aby byly rovnoměrně od sebe. Celkový počet svítidel představující okno je 9 331.

Při přepočtu na celkový elektrický příkon oken můžeme uvažovat, že používaný příkon pro osvětlování jedné místnosti v domácnosti dosahuje $P_s = 40 \text{ W}$. Z toho vyplývá, že celkový elektrický příkon oken tvoří $P_{celk.} = 373\,240 \text{ W}$.

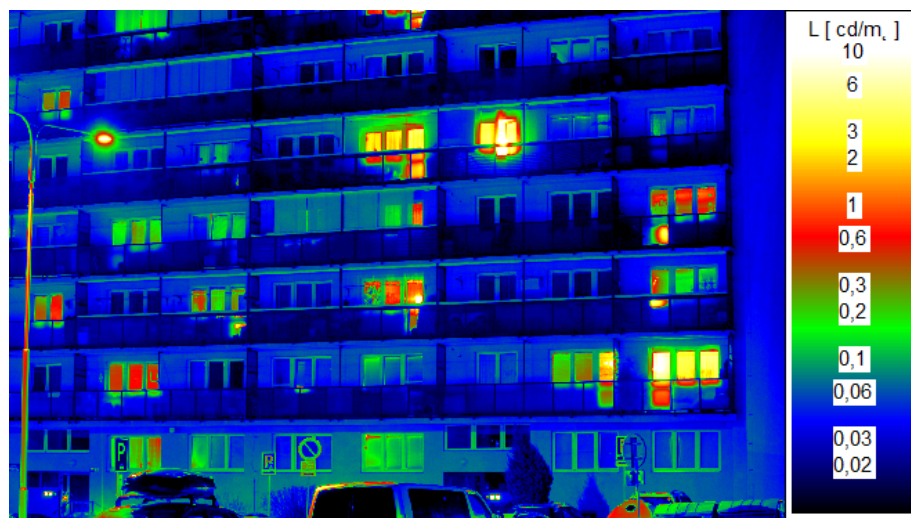


Obr. 5.30: Fotka bytového domu v noci



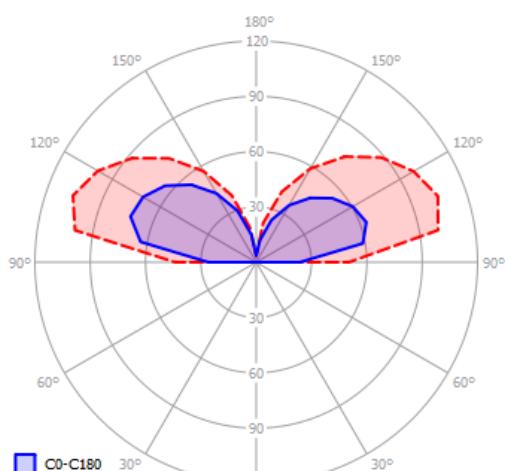
Obr. 5.31: Fotka bytového domu přes den [11]

Rozměry oken jsem stanovil $1200 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm}$. Při počtu 9331 oken, toto množství představuje plochu $S = 13\,437 \text{ m}^2$. Pro určení správného jasu okna je třeba provést měření. Jelikož některé okna mají clonu v podobě žaluzií, záclon, či jiných předmětů, jsou tyto jasy rozdílné. Proto bylo uspořádané měření a vyhodnotil jsem průměrné hodnoty jasů určitých oken. Některá intenzita jasů oken dosahovala hodnot až $L = 44,6 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, ale převážná část oken dosahovala menších intenzit. Proto byl vytvořen aritmetický průměr všech měření a výsledná intenzita jasů byla stanovena na hodnotu $L = 6 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$.

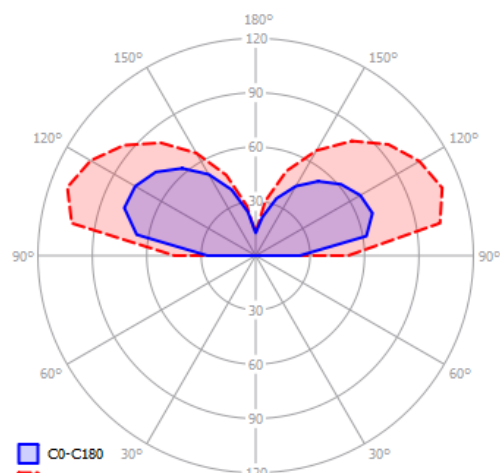


Obr. 5.32: Naměřené intenzity jasů oken

5.4.3 Srovnání vyzařovacích charakteristik oken



Obr. 5.34: Vyzařovací charakteristika přímé složky oken



Obr. 5.33: Vyzařovací charakteristika přímé + odražené složky oken

Tab. 5.12: Hodnoty vyzařujícího světelného toku do horního poloprostoru pro okna

Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)		251 937
Složka	Přímá	Přímá + odražená
Vyzařování do horního poloprostoru ULR (%)	45,00	48,70
Světelný tok vyzařující do horního poloprostoru Φ (lm)	113 372	122 693

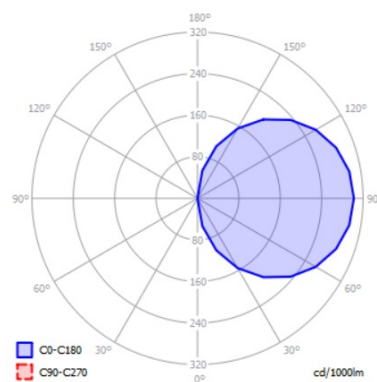
Při pohledu na tabulku (Tab. 5.12), ale také na vyzařovací charakteristiky oken, si můžeme všimnout, že rozdíl mezi přímou a přímou + odraženou složkou je téměř nepatrný a tvoří 3,7 %. Dále vidíme, že přímá složka vyzařování do horního poloprostoru vyzařuje 45,00 %, což znamená 113 372 lm. Přímá + odražená složka dosahuje 48,70 % což znamená 122 693 lm. Vyzařovací charakteristiky oken s převládající přímou složkou vyzařující do horního poloprostoru jsou dány jejich umístěním na domech. Vzhledem k tomu, že většina domů se tyčí do výšek, představují velký zdroj přímého rušivého světla. Pokud lidé nepoužívají žádné stínící prvky pro zamezení vyzařování, je těžké tomu zabránit. Úhel vyzařování do stran má za následek rozmístění výškových budov na modelu.

5.5 Reklamy

5.5.1 Světelné zdroje

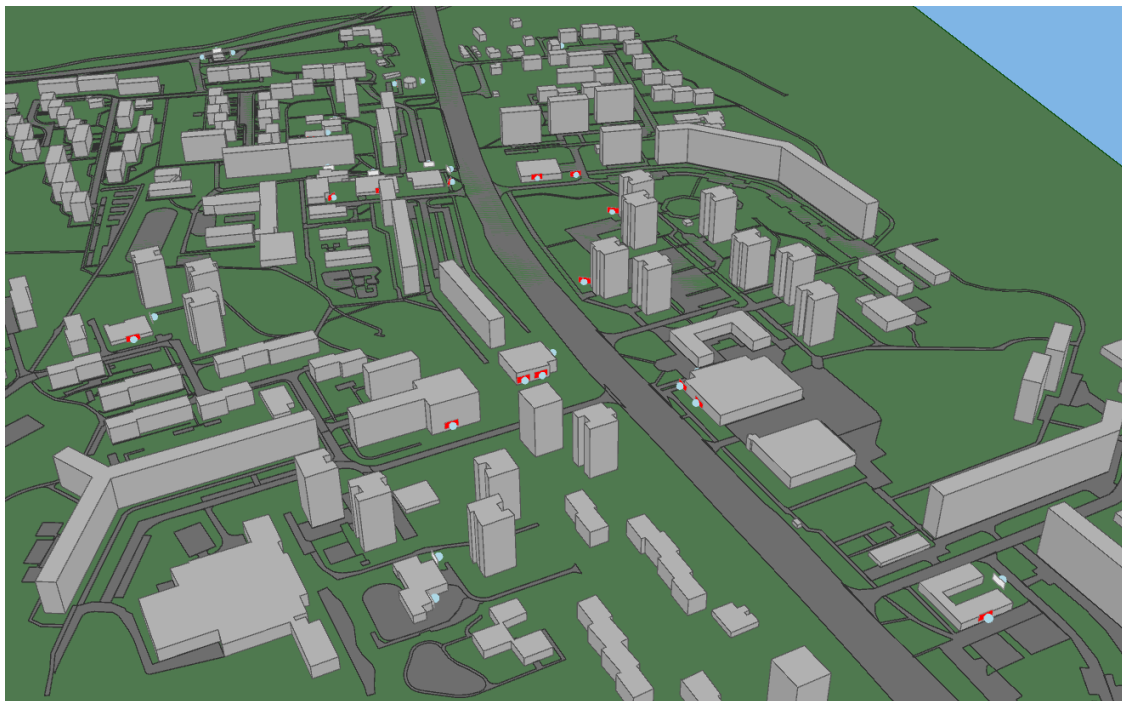
Tab. 5.13: Parametry světelných zdrojů pro reklamy

Typ svítidla	Reklama
Rozměry svítidla (mm)	9 600 × 4 800
Příkon svítidla P_s (W)	300
Světelný tok svítidla Φ_s (lm)	7 365
Počet svítidel n (ks)	35
Celkový příkon soustavy $P_{celk.}$ (W)	10 500
Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)	257 775



Obr. 5.35: Vyzařovací charakteristika reklam

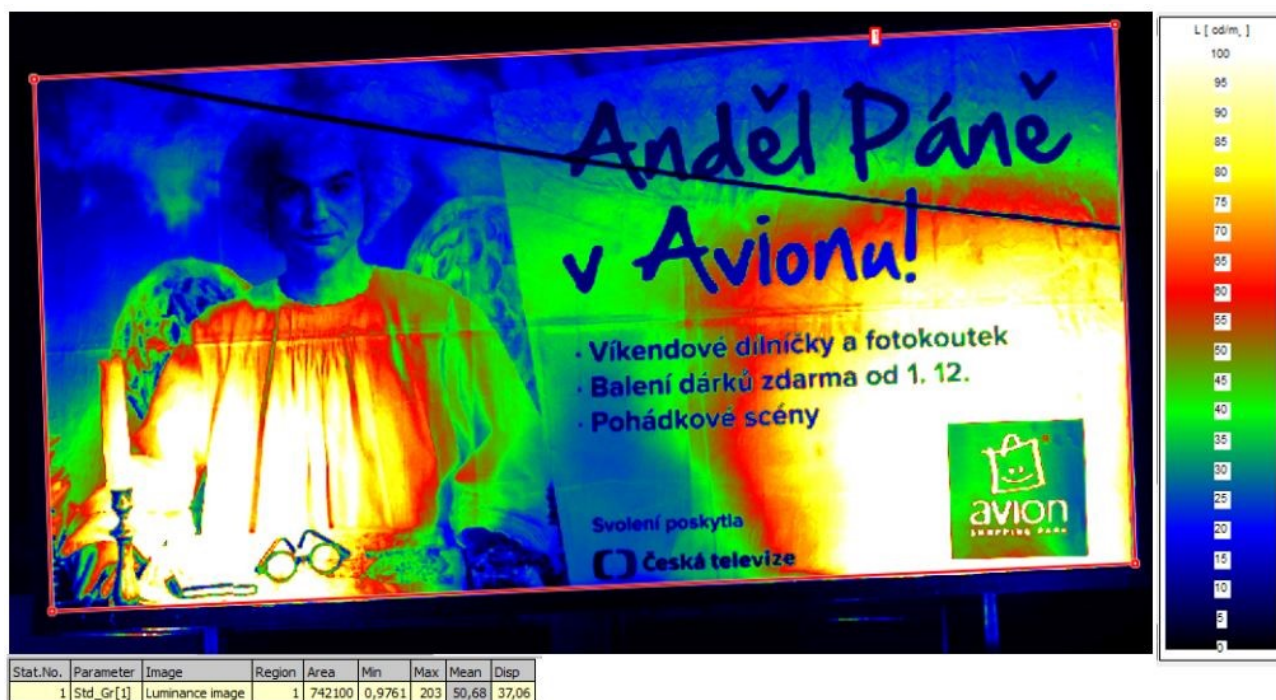
5.5.2 Popis



Obr. 5.36: 3D model s navrhnutými reklamami

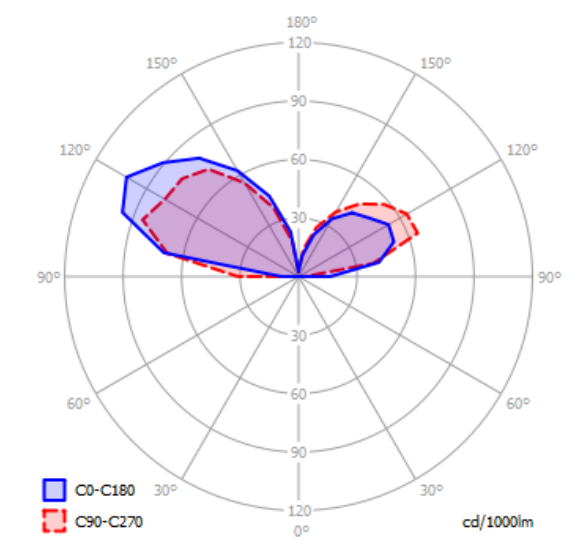
Nedílnou součástí městské zástavby tvoří reklamy. Jestli se jedná o reklamy dynamické, statické, či různé vitríny obchodníků, je třeba s nimi uvažovat a počítat. V mém případě jsem si projel městskou část Výškovic, abych zjistil, jakou část a jaký typ zde tvoří reklamní předměty. Konkrétně se zde jedná o podsvícené názvy obchodních řetězců, jejich vitríny, pohostinské zařízení s reklamní plochou značící druh piva, čerpací stanice, trafiky apod. V modelu jsem použil 35 ks světelných zdrojů představující reklamní osvětlení o velikosti $9600 \text{ mm} \times 4800 \text{ mm}$. Toto množství představuje plochu $S = 1\,613 \text{ m}^2$. Jednotlivé reklamní plochy byly přiřazovány podle odhadu velikostí skutečné reklamy. Rozmístění jsem prováděl pomocí online map. Intenzitu jasu pro zdroj představující reklamy jsem volil $L = 50 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Tato hodnota vychází z předem naměřeného billboardu, kdy jeho celková průměrná intenzita jasu je rovna $L = 50,68 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ (Obr. 5.37)

Při přepočtu na celkový elektrický příkon reklam můžeme uvažovat, že používaný příkon pro osvětlování jedné reklamy dosahuje $P_s = 300 \text{ W}$. Z toho vyplývá, že celkový elektrický příkon reklam tvoří $P_{\text{celk.}} = 10\,500 \text{ W}$.

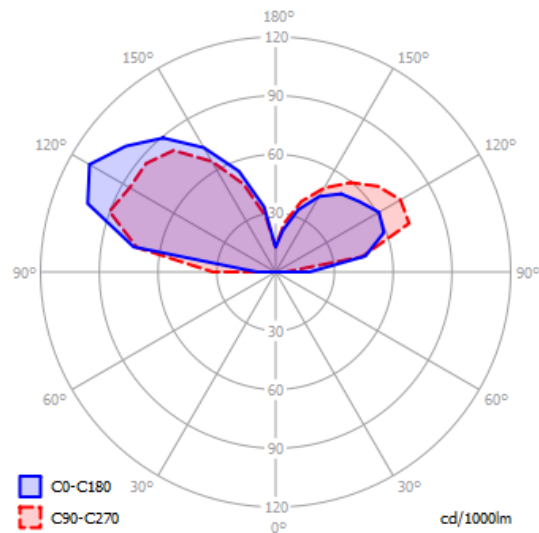


Obr. 5.37: Naměřená intenzita jasu reklamy

5.5.3 Srovnání vyzařovacích charakteristik reklam



Obr. 5.39: Vyzařovací charakteristika přímé složky reklam



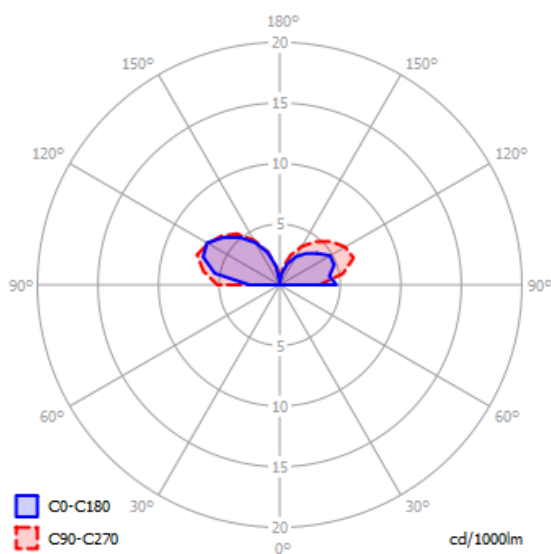
Obr. 5.38: Vyzařovací charakteristika přímé + odražené složky reklam

Tab. 5.14: Hodnoty vyzařujícího světelného toku do horního poloprostoru pro reklamy

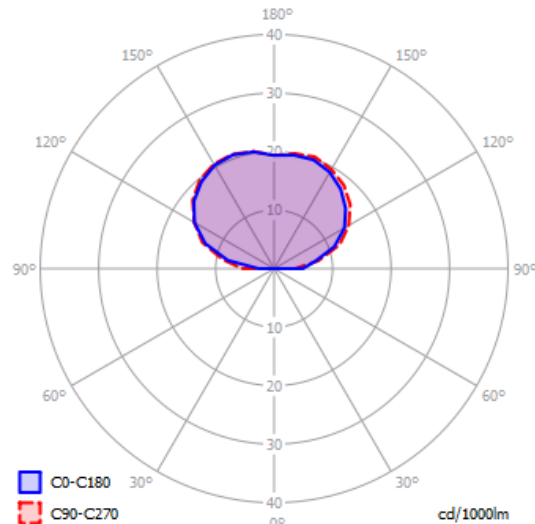
Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)	257 775	
Složka	Přímá	Přímá + odražená
Vyzařování do horního poloprostoru ULR (%)	36,80	41,50
Světelný tok vyzařující do horního poloprostoru Φ (lm)	94 861	106 977

Při pohledu na vyzařovací charakteristiku reklam (Obr. 5.39), si můžeme všimnout podobnosti s vyzařovací charakteristikou oken (Obr. 5.33, Obr. 5.34). Podobně jako u oken, je i u reklam rozdíl mezi přímou a přímou + odraženou složkou minimální a zde činí 4,7 %. Z tabulky (Tab. 5.14) vidíme, že přímá složka vyzařování do horního poloprostoru vyzařuje 36,80 % což znamená 94 861 lm. Přímá + odražená složka dosahuje 41,50 %, což znamená 106 977 lm.

5.6 Celkové porovnání



Obr. 5.41: Vyzařovací charakteristika přímé složky celého modelu



Obr. 5.40: Vyzařovací charakteristika přímé + odražené složky celého modelu

Tab. 5.15: Hodnoty vyzařujícího světelného toku do horního poloprostoru pro celkový model

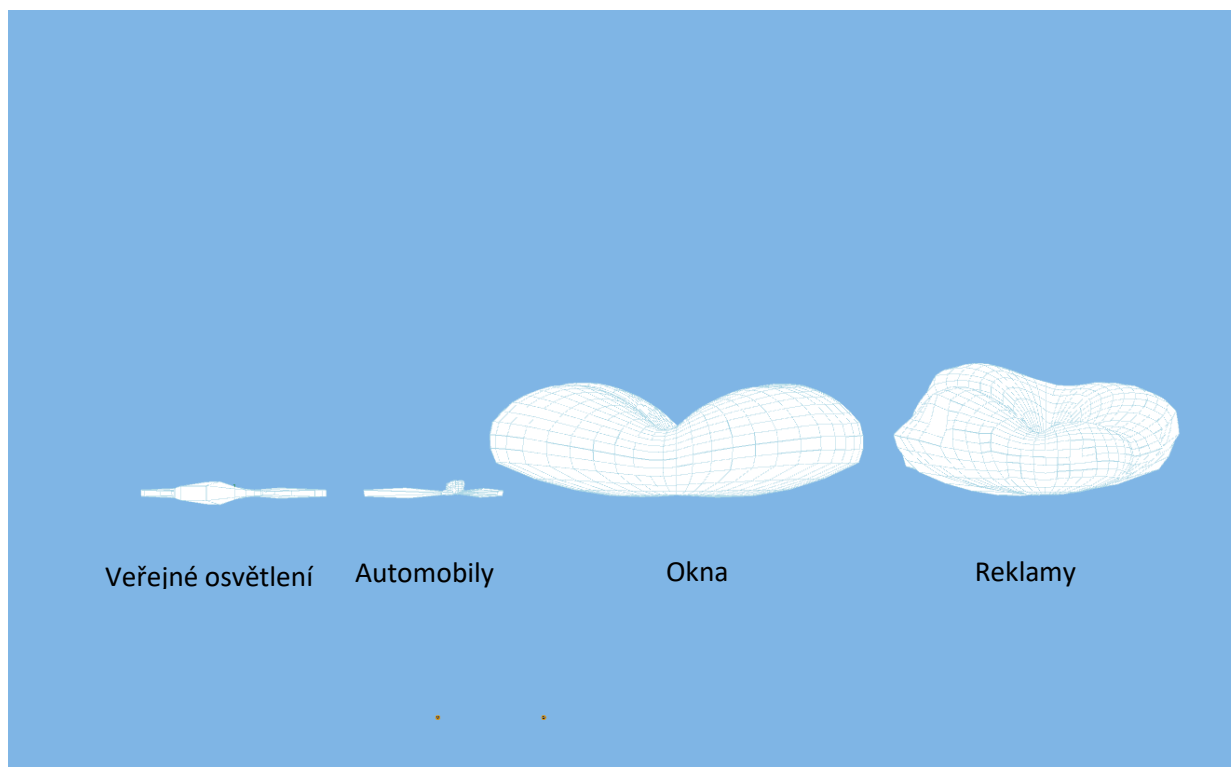
Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (lm)	6 833 607	
Složka	Přímá	Přímá + odražená
Vyzařování do horního poloprostoru ULR (%)	3,40	9,10
Světelný tok vyzařující do horního poloprostoru Φ (lm)	232 343	621 858

Tab. 5.16: Celkové srovnání

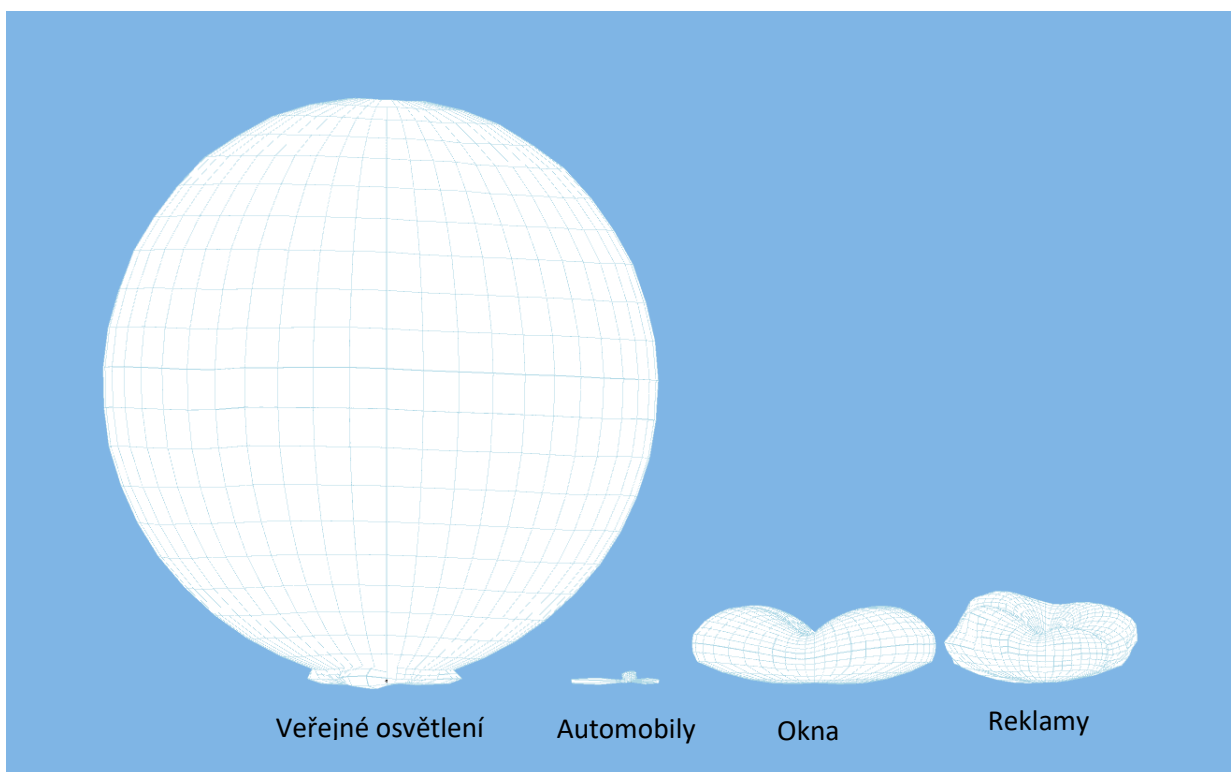
Parametry	VO	Auta	Okna	Reklamy	Celkem
Celkový světelný tok soustavy Φ_{celk} (klm)	6 266,6	57,3	251,9	257,8	6 833,6
Celkový příkon soustavy P_{celk} (kW)	50,5	5,5	373,2	10,5	439,7
Přímý světelný tok Φ_p (klm)	12,5	7,9	113,4	94,9	228,7
Odražený světelný tok Φ_o (klm)	369,7	4,9	9,3	12,1	396
Přímý + odražený světelný tok Φ_{p+o} (klm)	382,3	12,7	122,7	107	624,7

Z předešlé tabulky (Tab. 5.15) můžeme vidět celkové vyzařování modelu do horního poloprostoru. Z celkového světelného toku vyzařují všechny zdroje přímou složkou do horního poloprostoru 3,40 %, což činí 232 343 lm. Při pohledu na vyzařovací charakteristiku přímé složky (Obr. 5.41) si můžeme všimnout podobných tvarů, jako měly vyzařovací charakteristiky oken (Obr. 5.34) či reklam (Obr. 5.39). Tento směrově difuzní tvar charakteristiky je zapříčiněn právě dominantní složkou oken a reklam. Pokud se podíváme na obrázek (Obr. 5.42) můžeme vidět grafické znázornění vyzařování přímou složkou do horního poloprostoru. Zde vidíme, že veřejné osvětlení společně s vyzařováním automobilu je téměř zanedbatelné v porovnání s vyzařováním oken a reklam.

Z celkového světelného toku vyzařují všechny zdroje přímou + odraženou složkou do horního poloprostoru 9,10 % což činí 621 858 lm. Při pohledu na vyzařovací charakteristiku přímé + odražené složky (Obr. 5.40) vidíme, že tvar se blíží Lambertovu zářiči, ale je částečně ovlivněn vyzařováním oken a reklam. To se projevuje jako mírné propadnutí v horní polokouli v úhlu 180°. Pokud se podíváme na obrázek (Obr. 5.43) můžeme vidět grafické znázornění vyzařování přímou + odraženou složkou do horního poloprostoru. Zde vidíme, že veřejné osvětlení tvoří naprosto dominantní vyzařování v porovnání s ostatními složkami.



Obr. 5.42: Grafické znázornění přímé složky vyzařování: VO, aut, oken, reklam



Obr. 5.43: Grafické znázornění přímé + odražené složky vyzařování: VO, aut, oken, reklam

Závěr

Diplomová práce se zabývá normativními požadavky pro omezení rušivého světla ve venkovních prostorách, mezi které patří komunikace, venkovní pracovní prostory či sportoviště.

Cílem diplomové práce bylo navrhnout naprosto přesný model městské části. Konkrétně se jednalo o část Výškovice ve městě Ostrava. K tomuto návrhu bylo nutné provést řadu analýz jako například zjištění aktivně vyzařujících oken, přesný počet oken všech domů, přesný počet aut projíždějících za určitý čas, odhadnutí velikosti plochy vyzařující v podobě reklam a především namodelování veřejného osvětlení s ohledem na přesné rozmístění, směřování a výšku svítidel. Jelikož se jedná o městskou zástavbu, byl kladen důraz na namodelování právě oken, automobilů a reklam. Model je řešen v časovém horizontu 18:00 – 22:00 hodin, neboť v tuto dobu je aktivita těchto zdrojů největší.

Při porovnávání výsledku s ohledem na celkový světelný tok je patrné, že nejdominantnější složku tvoří veřejné osvětlení, poté reklamy společně s okny a nakonec auta. Je důležité si ale uvědomit, že v návrhu modelu se nevyskytují největší zdroje rušivého světla jako například železnice, obchodní centra, průmysl nebo sportoviště. Pokud bychom měli tyto vlivy v daném návrhu, je více než jasné, že veřejné osvětlení by v poměru s těmito zdroji rušivého světla nebylo tak dominantní. Pohled na vyzařování automobilů se může zdát zanedbatelný, ale je třeba si uvědomit, že se nejedná o nejfrekventovanější silnici a tyto hodnoty ve větších městech jsou často několikanásobně větší.

Pokud se zaměříme na vyzařování pouze přímého světelného toku, tvoří nejdominantnější složku okna a reklamy. Přesto, že norma uvádí maximální hodnoty pro přímé vyzařování do horního poloprostoru, jsou v těchto případech tyto hodnoty několikanásobně překročeny. Obzvláště bych zde chtěl upozornit na reklamy, neboť tento zdroj rušivého světla dost často vyzařuje po celou noc, přestože se zde nenacházejí žádní pozorovatelé. Jako další složkou přímého vyzařování do horního poloprostoru je veřejné osvětlení, které svými hodnotami splňuje limity udávané normou. Hodnota vyzařování do horního poloprostoru je 0,2 %. Tato hodnota je tvořena pouze vysokotlakými sodíkovými výbojkami, především jejich optikou. Je pravděpodobné, že tento typ světelného zdroje bude v nedaleké době vyměněn za LED a přímá hodnota světelného záření veřejného osvětlení bude rovna nule. Jako posledním zdrojem jsou automobily, které mají nutnost přímého vyzařování do horního poloprostoru z důvodu osvětlování dopravních značení.

Odražená složka je dána fyzikálními vlastnostmi povrchů. Převládající složka je veřejné osvětlení. Dalším zdrojem rušivého světla jsou reklamy a okna. Zde si můžeme všimnout, že vyzařovací složka pro reklamy má větší podíl než okna. Je to dáno tím, že reklamy se nacházejí v nižších výškách oproti oknům, a proto využívají větší odraznosti od země.

K danému modelu přistupujeme nejenom z hlediska světelně technického, ale také energetického. Zde tvoří největší část příkonu okna. Je to dáno tím, že je tento model zaměřen na městskou obytnou část a převážnou většinu objektů jsou bytové domy a jejich celkový příkon je 373,2 kW. Vzhledem k tomu, že většina domácností již dnes používá velmi efektivní LED světelné zdroje, můžeme říct, že podíl příkonu mohl být v minulosti větší. Další celek z elektrického příkonu je veřejné osvětlení. Zde se dostáváme na hodnotu 50,5 kW a je nutné zdůraznit, že téměř polovinu daného příkonu tvoří vysokotlaké sodíkové

výbojky. Druhou polovinu příkonu tvoří LED svítidla přesto, že se jich v projektu nachází $3,5 \times$ více než vysokotlakých sodíkových výbojek. To je také důkazem o účinnosti LED světelných zdrojích.

Je důležité si uvědomit, že navrhovaný model je konstruován jako nejhorší případ, kdy udržovací činitel je 1, což znamená, že se osvětlovací soustava chová jako nová. Vzhledem k tomu, že nejsou dostupné informace naklopení svítidel, jsou svítidla v modelu instalována pod úhlem naklopení 0° . Dále se v návrhu nepočítá se stíněním v podobě stromů, křoví apod. Tyto faktory mají za následek snížení světelného toku do horního poloprostoru a ve skutečnosti by výsledky vyzařování do horního poloprostoru měly nabývat menších hodnot.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [2] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [3] BOYCE, Peter R. *Human factors in lighting*. Third edition. Boca Raton: CRC Press, [2014]. ISBN 978-1-4398-7488-2.
- [4] *Odborná skupina pro tmavé nebe* [online]. Česká republika [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://svetelneznecistení.cz/>
- [5] ČSN EN 13201-2: *Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky*.
- [6] CIE 150:2017: *Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations, 2nd Edition*.
- [7] DOSTÁL, František. *Rušivé světlo v podmínkách ČR*. Ostrava, 2011. Disertační práce. VŠB - TUO.
- [8] ČSN EN 12464-2: *Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů - Část 2: Venkovní pracovní prostory*. Český normalizační institut, 2004.
- [9] *Osvětlení automobilu. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.*
- [10] *Řízené systémy výhledu z vozidla a signalizace. Praha, 2013. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.*
- [11] JURTÍK, Jan. *Udržovací činitel v soustavách vnitřního osvětlení*. Ostrava, 2019. Bakalářská práce. VŠB - TUO. *Google mapy* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps>
- [12] *Artechnic Schréder* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.artechnic-schreder.cz/produkty>
- [13] *Thorn Lighting* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://www.thornlighting.cz/cs-cz/produkty>
- [14] *Philip Lighting* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.lighting.philips.cz/prof/venkovni-osvetleni>
- [15] *Celostátní sčítání dopravy ŘSD* [online]. 2016 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://scitani2016.rsd.cz/pages/map/default.aspx>
- [16] *Golfové hřiště* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-s/0e/1c/fe/41/abu-dhabi-night-golf.jpg>

[17] *Přístav* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z:

<https://p0.pikist.com/photos/33/541/container-terminal-container-ship-shipping-port-cargo-export-transport-loading-import.jpg>

Seznam příloh

Příloha A – Model městské části Ostrava – Výškovice

Příloha B – Parametry a vyzařovací charakteristiky svítidel veřejného osvětlení

Příloha C – Seznam všech světelných zdrojů